

**DIMAS AGOSTINHO DA SILVA**

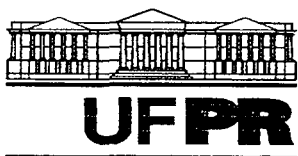
**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM UMA INDÚSTRIA  
DE PAINÉIS COMPENSADO**

Tese apresentada à Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências do Curso de pós-graduação em Engenharia Florestal, para obtenção do título de Doutor em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Ivan Tomaselli

**CURITIBA**

**2001**



Universidade Federal do Paraná  
Setor de Ciências Agrárias – Centro de Ciências Florestais e da Madeira  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**  
Av. Lothário Meissner, 3400 - Jardim Botânico – CAMPUS III  
80210-170 - CURITIBA - Paraná  
Tel. (41) 360.4212 - Fax. (41) 360.4211 - <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao>  
e-mail: [pinheiro@floresta.ufpr.br](mailto:pinheiro@floresta.ufpr.br)

## PARECER

Defesa nº 424

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o doutorando *DIMAS AGOSTINHO DA SILVA* em relação ao seu trabalho de tese intitulado “AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM UMA INDÚSTRIA DE PAINÉS COMPENSADO”, é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do acadêmico, habilitando-o ao título de *Doutor em Ciências Florestais*, na área de concentração em *Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais*.

*[Assinatura]*  
**Dr. Ivan Tomaselli**

Professor e pesquisador do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR  
Orientador e presidente da banca examinadora

*[Assinatura]*  
**Dr. Paulo Fernando Trugilho**  
Professor e pesquisador da UFLA-MG  
Primeiro examinador

*[Assinatura]*  
**Dr. Sueli Nunez**  
Professor e pesquisador da FCAP-Belém-PA  
Segundo examinador



*[Assinatura]*  
**Dr. Sidon Keinert Junior**

Professor e pesquisador do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR  
Terceiro examinador

*[Assinatura]*  
**Drª. Graciela Inez Bolzon de Muñiz**  
Professora e pesquisadora do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal  
Quarto examinador

Curitiba, 13 de março de 2001.

*[Assinatura]*  
**Nivaldo Eduardo Rizzi**  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
**Franklin Galvão**  
Vice-coordenador

A minha esposa, **Lourdes**, que não mede esforços para incentivar e apoiar meu trabalho.

*Dedico.*

A meus filhos, **Dimas Filho e Álvaro Afonso**, pela alegria da vida.

*Ofereço.*

A meus filhos **Alexandre, Ana Raquel e Último**, pela ausência (em memória).

*Minha saudade*

A meus pais (Toninho e Alacoque),  
irmãos (Dirceu, Toninha, Mônica, Mariza, Célio, Célia, Fatinha e Miriam),  
cunhados (Álvaro, Armindo, Henrique, Miguel, Paulo, Zé, Fátima, Cláudia e Dinha)  
e sobrinhos (Rodrigo, Camila, Izabela, Flávia, Vinicius, Marcelo, Micaela, Pietra, Barnabé,  
Rafael, Alvinho, André, Arminda, Eugênia, Armindinho, Guilherme)

*Meu reconhecimento.*

A meus afilhados Camila, Thales, Maria e Marcelo

*Meu abraço.*

A Deus pela vida.

*Meu louvor.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus.

Ao professor doutor Ivan Tomaselli, pela orientação, pelos ensinamentos, pela paciência, pelos conselhos, pelo estímulo e pelo apoio consolidado em amizade ao longo desses anos.

À empresa E. B. Gomes Ltda pela gentileza na concessão do material e dados utilizados neste estudo.

Ao Dr. Luís Carlos e funcionários da empresa E. B. Gomes pela colaboração e atenção.

À Universidade Federal do Paraná pela oportunidade.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e Capes pela oportunidade e apoio na fase inicial deste curso.

A minha família: Lourdes, Dimas Filho e Álvaro Afonso

Aos professores Setsuo, Sidon, Jorge Matos, Umberto, Ghislaine, Graciela, e Márcio, Anselmo Chaves, Neida Volpi da UFPR e pesquisador da EMBRAPA Edilson Oliveira, pelas valiosas contribuições apresentadas no trabalho.

Aos professores do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal pela amizade e estímulo.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal pelo apoio.

Ao Coordenador e funcionários da Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal pela atenção.

Aos colegas do Curso de Pós-Graduação pela amizade, convivência e colaboração.



## BIOGRAFIA

DIMAS AGOSTINHO DA SILVA, filho de Antônio Sandim da Silva e Maria Margarida da Silva, nasceu em Madre de Deus de Minas, Estado de Minas Gerais, no dia 28 de agosto de 1954.

È casado com Maria de Lourdes e pai de Dimas Filho, Álvaro Afonso e, em memória, de Alexandre, Ana Raquel e Último .

Cursou primeiro grau no Grupo Escola Menino Jesus de Madre de Deus de Minas.

Técnico agrícola pela Escola Agrícola de Barbacena, Estado de Minas Gerais.

Engenheiro florestal pela Universidade Federal de Viçosa, Estado de Minas Gerais.

Mestrado na Escola Superior Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo, em Piracicaba, Estado de São Paulo, com a orientação dos professores José Otávio Brito e Luiz Ernesto George Barrichello.

No período entre 1979 e 1982 foi funcionário do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), atual IBAMA, exercendo funções técnicas e de administração. Foi superintendente entre 1981 e 1982 no Estado do Amazonas.

No período entre 1982 e 1998 foi pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Estado do Amazonas.

Exerceu a presidência do Instituto do Meio Ambiente (IMA), atual IPAM, do Governo do Estado do Amazonas entre 1990 e 1994.

Em 1998, através de concurso público, ingressou para a Universidade Federal do Paraná, onde é professor das disciplinas Energia de Biomassa Florestal e Engenharia de Ambiente na Indústria Florestal.

Em 2001, conclui a tese de doutorado em Ciências Florestais, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Estado do Paraná, com a orientação do professor Dr. Ivan Tomaselli.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xiv</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS .....	3
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
2.1 O SETOR FLORESTAL NO BRASIL .....	4
2.1.1 Floresta Nativas .....	4
2.1.2 Florestas de Alta Produção (Reflorestamento) .....	5
2.1.3 Produção Florestal .....	7
2.1.4 Mercado dos Produtos Florestais .....	9
2.1.5 Perspectiva Futura .....	10
2.1.6 Importância Social .....	12
2.2 A INDUSTRIALIZAÇÃO DE COMPENSADO NO BRASIL .....	13
2.2.1 Desenvolvimento Industrial .....	13
2.2.2 Processo de Produção .....	15
2.2.3 Produto e Utilização .....	18
2.2.4 Produção de Compensado .....	19
2.2.5 Consumo de Compensado .....	22
2.2.6 Perspectivas e Desafios .....	25
2.3 ENERGIA NA INDÚSTRIA DE COMPENSADO .....	28
2.3.1 Energia Térmica .....	29
2.3.2 Energia Elétrica .....	39
2.3.3 Energia Química .....	44
2.3.4 Energia Humana.....	48
2.4 PARTICIPAÇÃO DA ENERGIA NOS CUSTOS DE PRODUÇÃO DE COMPENSADO .....	50

2.5 BIOMASSA FLORESTAL COMO FONTE DE ENERGIA .....	54
2.5.1 Madeira como Energético .....	54
2.5.1.1 Aspectos Gerais .....	54
2.5.1.2 Poder Calorífico .....	55
2.5.2 Resíduos na Indústria .....	59
2.5.3. Possibilidade de Uso e Tecnologia .....	62
2.5.3.1 Geração Térmica .....	70
2.5.3.2 Cogeração .....	72
2.6 EFICIÊNCIA DO CONSUMO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA .....	75
<b>3. MATERIAL E MÉTODO .....</b>	<b>78</b>
3.1 LOCALIZAÇÃO DO ESTUDO .....	78
3.2 LEVANTAMENTO DA ESTRUTURA INDUSTRIAL .....	78
3.2.1 Instalação Física .....	78
3.2.2 Coleta de Dados Relativos a Produção Física .....	79
3.3 QUANTIFICAÇÃO DOS ENERGÉTICOS NA INDÚSTRIA .....	79
3.3.1 Descrição do Uso de Energias e Amostragem .....	79
3.3.2 Energia Térmica .....	80
3.3.2.1 Obtenção da Massa de Lenha e Resíduos Queimados nas Caldeiras .....	80
3.3.2.2 Determinação do Teor de Umidade da Biomassa .....	81
3.3.2.3 Determinação da Quantidade de Energia Utilizada .....	81
3.3.3 Energia Elétrica .....	82
3.3.4 Energia Química .....	83
3.3.5. Energia Humana .....	84
3.3.6 Quantificação dos Energéticos por Fase da Produção .....	85
3.4 CÁLCULO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA INDÚSTRIA E SUA QUANTIFICAÇÃO ENERGÉTICA .....	85
3.4.1 Fase de Conversão Primária .....	85
3.4.2 Fase de Conversão Secundária .....	86
3.5 DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	87
3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA E TESTE DE MODELOS DE REGRESSÃO .....	88
3.6.1 Estimativa do consumo de energia por tipo na produção de lâminas verdes, na secagem de lâminas e na fábrica de compensado .....	88
3.6.2 Estimativa do Consumo de Energia Global e por Tipo em Relação a Produção de	

Compensado .....	89
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>90</b>
4.1 ESTRUTURA INDUSTRIAL .....	90
4.2 PRODUÇÃO INDUSTRIAL .....	94
4.2.1 Matéria-prima e Produção .....	94
4.2.2 Geração de Resíduos .....	97
4.3 ANÁLISE DO PERFIL ENERGÉTICO .....	99
4.3.1 Energia Elétrica .....	99
4.3.2 Energia Térmica .....	117
4.3.3 Energia Química .....	124
4.3.4 Energia Humana .....	130
4.3.5 Consumo Energético Global .....	134
4.4 OTIMIZAÇÃO NO BALANÇO ENERGÉTICO .....	142
4.4.1 Otimização do Consumo Atual .....	142
4.4.2 Otimização do Uso de Resíduos .....	147
4.4.3 Implicações no Balanço Energético .....	149
4.5 MODELOS DE REGRESSÃO PARA ESTIMATIVAS DE CONSUMO DE ENERGIA PARA A INDÚSTRIA .....	151
4.5.1 Seleção de Modelos .....	151
4.5.2 Modelos Seleccionados .....	152
4.5.3 Consumo de Energia em Relação a Produção de Compensado .....	157
4.5.4 Consumo de Energia Otimizada por m <sup>3</sup> em Relação a Produção de Compensado....	158
4.6 IMPLICAÇÕES DESTE ESTUDO NA INDÚSTRIA DE BASE FLORESTAL .....	162
<b>5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>166</b>
5.1 CONCLUSÕES .....	166
5.2 RECOMENDAÇÕES .....	168
<b>6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>169</b>
<b>7. ANEXOS.....</b>	<b>184</b>

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – PRODUÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTOS DE MADEIRA .....	8
TABELA 2 – COMÉRCIO INTERNACIONAL DE PRODUTOS DE MADEIRA E A CONTRIBUIÇÃO DO BRASIL .....	9
TABELA 3 – ESTRUTURA DE PRODUÇÃO NA INDÚSTRIA DE COMPENSADO NO BRASIL EM RELAÇÃO A OUTROS PAÍSES.....	20
TABELA 4 – EVOLUÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA DA INDÚSTRIA DE COMPENSADO NO BRASIL .....	21
TABELA 5 – PRINCIPAIS MERCADOS DO COMPENSADO BRASILEIRO .....	22
TABELA 6 - DISTRIBUIÇÃO DA PRODUÇÃO NACIONAL DE COMPENSADO .....	24
TABELA 7 – AVALIAÇÃO INDUSTRIAL E TECNOLÓGICA DE COMPENSADO NO BRASIL.....	26
TABELA 8 – INFLUÊNCIA DO CONTEÚDO DE UMIDADE DA BIOMASSA NO PODER CALORÍFICO SUPERIOR E NA EFICIÊNCIA DA CALDEIRA.....	33
TABELA 9 – CONSUMO ENERGIA TÉRMICA REQUERIDA NA MANUFATURA DE PRODUTOS FLORESTAIS .....	34
TABELA 10 – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE INDÚSTRIA FLORESTAL DE TRANSFORMAÇÃO MECÂNICA E CONSUMO DE ENERGIA TÉRMICA .....	35
TABELA 11 - CONSUMO DE ENERGIA TÉRMICA NA SECAGEM DE MADEIRA SERRADA, LÂMINAS E PARTÍCULAS .....	35
TABELA 12 – CONSUMO DE ENERGIA TÉRMICA EM INDÚSTRIA INTEGRADA DE COMPENSADO.....	36
TABELA 13 – CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NA MANUFATURA DE PRODUTOS FLORESTAIS .....	43
TABELA 14 – CARACTERÍSTICAS DE INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO MECÂNICA E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA .....	44
TABELA 15 – CONSUMO DE ENERGIA QUÍMICA REQUERIDA NA MANUFATURA DE PRODUTOS FLORESTAIS .....	47
TABELA 16 – ESTRUTURA DE CUSTOS DE COMPENSADOS EM FÁBRICA DOS ESTADOS UNIDOS E DO JAPÃO .....	51
TABELA 17 – COMPARAÇÃO DOS CUSTOS DE ENERGIA NA PRODUÇÃO DE ALGUNS PRODUTOS FLORESTAIS .....	52
TABELA 18 – COMPARAÇÃO RELATIVA DOS CUSTOS POR TIPO DE ENERGIA NA OBTENÇÃO DE ALGUNS PRODUTOS FLORESTAIS .....	53
TABELA 19 – QUANTIDADES MÉDIAS DE RESÍDUOS GERADOS NA INDUSTRIALIZAÇÃO DE COMPENSADO DE CONÍFERAS .....	61
TABELA 20 – DADOS DE PRODUÇÃO E GERAÇÃO DE RESÍDUOS NUMA INDÚSTRIA INTEGRADA DE COMPENSADO E CHAPA DURA .....	61
TABELA 21 – CONVERSÃO DE MADEIRA E RESÍDUOS EM COMBUSTÍVEIS .....	63
TABELA 22 – CONVERSÃO DA MADEIRA EM ENERGIA .....	64
TABELA 23 – PODER CALORÍFICO E MASSA ESPECÍFICA DOS COMBUSTÍVEIS .....	83
TABELA 24 – POTÊNCIA INSTALADA POR SETOR .....	92
TABELA 25 – ESPECIFICAÇÕES DAS CALDEIRAS INSTALADAS INDÚSTRIA .....	93
TABELA 26 – CONSUMO DE MATÉRIA-PRIMA, PRODUÇÃO E RENDIMENTO NA LAMINAÇÃO .....	95
TABELA 27 – CONSUMO DE MATÉRIA-PRIMA E PRODUÇÃO MÉDIA DA	

FÁBRICA DE COMPENSADO.....	95
TABELA 28 – RESÍDUOS GERADOS NA PRODUÇÃO DE COMPENSADO .....	97
TABELA 29 – POTÊNCIA ELÉTRICA INSTALADA POR SETOR .....	99
TABELA 30 – VALORES DE TARIFA DE ENERGIA ELÉTRICA NO SISTEMA DE MEDIÇÃO UTILIZADO NA INDÚSTRIA .....	100
TABELA 31 – DEMANDA DE POTÊNCIA ELÉTRICA POR M <sup>3</sup> PRODUZIDO .....	101
TABELA 32 – CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NA INDÚSTRIA POR MÊS E POR M <sup>3</sup> PRODUZIDO.....	107
TABELA 33 – COMSUMO MÉDIO DE ENERGIA ELÉTRICA POR SETOR POR MÊS E M <sup>3</sup> DE PRODUTO DA INDÚSTRIA .....	110
TABELA 34 – CONSUMO MÉDIO DE BIOMASSA USADA NAS CALDEIRAS E PRODUÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA .....	118
TABELA 35 – INFLUÊNCIA DO CONTEÚDO DE UMIDADE DA BIOMASSA NO PODER CALORÍFICO E EFICIÊNCIA DA CALDEIRA.....	119
TABELA 36 – CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA TÉRMICA NAS CALDEIRAS.....	120
TABELA 37 – CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA TÉRMICA POR SETOR .....	122
TABELA 38 – CONSUMO MÉDIO DE VAPOR E ENERGIA TÉRMICA POR EQUIPAMENTOS .....	123
TABELA 39 – CONSUMO MÉDIO ENERGIA QUÍMICA POR UNIDADE E POR TIPO DE COMBUSTÍVEL NA INDÚSTRIA E NA DISTRIBUIÇÃO DE PRODUTOS .....	126
TABELA 40 – CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA QUÍMICA POR SETOR .....	128
TABELA 41 – RESULTADOS MÉDOS DE DEMANDA DE MÃO-DE-OBRA E CONSUMO DE ENERGIA HUMANA .....	130
TABELA 42 – CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA HUMANA POR POR SETOR .....	132
TABELA 43 – CONSUMO TOTAL DE ENERGIA POR TIPO NA FASE DE CONVERSÃO PRIMÁRIA .....	134
TABELA 44 – CONSUMO TOTAL DE ENERGIA POR TIPO NA FASE DE CONVERSÃO SECUNDÁRIA .....	136
TABELA 45 – CONSUMO MÉDIO TOTAL DE ENERGIA POR TIPO INDÚSTRIA..	138
TABELA 46 – CONSUMO DE ENERGIA POR SETOR DA INDÚSTRIA.....	140
TABELA 47 – GANHOS POTENCIAIS EM EFICIÊNCIA PELA REDUÇÃO DA UMIDADE .....	144
TABELA 48 – COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA TÉRMICA ATUAL E OTIMIZADO .....	148
TABELA 49 – BALANÇO ATUAL ENTRE O POTENCIAL DE RESÍDUOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA E SEU CONSUMO POR M <sup>3</sup> DE COMPENSADO .....	149
TABELA 50– BALANÇO OTIMIZADO DE ENERGIA ENTRE O POTENCIAL DE RESÍDUOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA E SEU CONSUMO POR M <sup>3</sup> DE COMPENSADO .....	150
TABELA 51– MODELOS SELECIONADOS PARA CONSUMO DE ENERGIA NA LAMINAÇÃO .....	152
TABELA 52– MODELOS SELECIONADOS PARA CONSUMO DE ENERGIA NA SECAGEM DE LÂMINAS .....	153
TABELA 53– MODELOS SELECIONADOS PARA CONSUMO DE ENERGIA NA PRODUÇÃO DE COMPENSADO .....	154
TABELA 56– ENERGIA REQUERIDA NA MANUFATURA DE PRODUTOS FLORESTAIS .....	164

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE COMPENSADO NO BRASIL .....	20
FIGURA 2 - EVOLUÇÃO DAS EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS DE COMPENSADO .....	23
FIGURA 3 - EVOLUÇÃO DO PREÇO MÉDIO DE COMPENSADO NO MERCADO INTERNACIONAL .....	24
FIGURA 4 – TEMPO MÉDIO DE USO DE EQUIPAMENTOS NA INDÚSTRIA DE COMPENSADO .....	27
FIGURA 5 – ILUSTRAÇÃO DE UMA CALDEIRA TIPO FLAMOTUBULAR.....	31
FIGURA 6 – ILUSTRAÇÃO DE UMA CALDEIRA TIPO AQUATUBULAR .....	32
FIGURA 7 – BALANÇO DE MATÉRIA-PRIMA MOSTRANDO A VARIAÇÃO PARA RESÍDUOS ENTRE CONÍFERAS (A) E FOLHOSAS (B).....	38
FIGURA 8 – RELAÇÃO ENTRE POTÊNCIA ATIVA, REATIVA E APARENTE.....	40
FIGURA 9 – CONSUMO GLOBAL DE ENERGIA DE UM HOMEM COMPARADO COM SEU CONSUMO TRABALHANDO .....	49
FIGURA 10 – ESQUEMA BÁSICO PARA COGERAÇÃO NA INDÚSTRIA DE BASE FLORESTAL .....	73
FIGURA 11 - FLUXO DO PROCESSO PRODUTIVO E DO USO DE ENERGIA .....	91
FIGURA 12 – SÉRIE HISTÓRICA DE CONSUMO E PRODUÇÃO NA INDÚSTRIA .	96
FIGURA 13 – PRODUÇÃO RELATIVA DE RESÍDUOS NA INDÚSTRIA .....	98
FIGURA 14 – EVOLUÇÃO DA DEMANDA DE POTÊNCIA ATIVA NA UNIDADE DE LAMINAÇÃO E NA FÁBRICA DE COMPENSADO .....	102
FIGURA 15A - PERFIL DA DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA SEMANAL NA FÁBRICA .....	103
FIGURA 15B – PERFIL DA DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA SEMANAL NA FÁBRICA .....	104
FIGURA 16 – EVOLUÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA NA UNIDADE DE LAMINAÇÃO E NA FÁBRICA DE COMPENSADO .....	106
FIGURA 17 – CONSUMO RELATIVO DE ENERGIA ELÉTRICA NA INDÚSTRIA .	109
FIGURA 18 – CONSUMO RELATIVO DE ENERGIA ELÉTRICA POR SETOR.....	111
FIGURA 19 – EQUIPAMENTOS MAIORES CONSUMIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA .....	112
FIGURA 20 – PERFIL DO CONSUMO DIÁRIO DE ENERGIA ELÉTRICA EM ALGUNS DOS PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS DA INDÚSTRIA.....	113
FIGURA 21 – PERFIL DO CONSUMO MÉDIO HORÁRIO DE ENERGIA ELÉTRICA NOS SECADORES .....	113
FIGURA 22A – CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA ELÉTRICA NOS TORNOS DE LAMINAÇÃO NAS DIVERSAS FASES DO PROCESSO.....	114
FIGURA 22B – CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA ELÉTRICA NO CICLO DE LAMINAÇÃO .....	115
FIGURA 23A – CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA ELÉTRICA NA PRENSA.....	116
FIGURA 23B – PERFIL DO CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA ELÉTRICA NA PRENSA NO CICLO DE PRENSAGEM .....	116
FIGURA 24 – CONSUMO MÉDIO RELATIVO MENSAL DE BIOMASSA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA .....	118
FIGURA 25 – CONSUMO MÉDIO RELATIVO DE ENERGIA TÉRMICA .....	121
FIGURA 26 – CONSUMO RELATIVO DE ENERGIA TÉRMICA POR SETOR .....	122

FIGURA 27 – CONSUMO MÉDIO ENERGIA TÉRMICA POR EQUIPAMENTOS ...	124
FIGURA 28 – TIPOS DE COMBÚSTIVEIS E PARTICIPAÇÃO NA INDÚSTRIA E NA DISTRIBUIÇÃO DE PRODUTOS .....	125
FIGURA 29 – CONSUMO RELATIVO DE ENERGIA QUÍMICA NA INDÚSTRIA E NA DISTRIBUIÇÃO DE PRODUTOS .....	126
FIGURA 30 – PARTICIPAÇÃO RELATIVA DO CONSUMO DE ENERGIA DE QUÍMICA POR SETOR.....	129
FIGURA 31 – PARTICIPAÇÃO MÉDIA CONSUMO DE ENERGIA HUMANA .....	130
FIGURA 32 – PARTICIPAÇÃO RELATIVA DOS SETORES NO CONSUMO ENERGIA HUMANA .....	132
FIGURA 33 – CONSUMO RELATIVO DE ENERGIA NA FASE DE CONVERSÃO PRIMÁRIA EM RELAÇÃO A PRODUÇÃO DE LÂMINAS .....	135
FIGURA 34 – CONSUMO RELATIVO DE ENERGIA NA FASE DE CONVERSÃO SECUNDÁRIA .....	136
FIGURA 35 – CONSUMO TOTAL RELATIVO DE ENERGIA POR TIPO .....	138
FIGURA 36 – CONSUMO GLOBAL RELATIVO DE ENERGIA POR SETOR .....	141
FIGURA 37 – POSSIBILIDADE DE OTIMIZAÇÃO ANALISADA .....	142
FIGURA 38 – ESTIMATIVA DA DEMANDA OTIMIZADA DE ENERGIA TÉRMICA NA INDÚSTRIA .....	156
FIGURA 39 – ESTIMATIVA DA DEMANDA OTIMIZADA DE ENERGIA ELÉTRICA NA INDÚSTRIA .....	156
FIGURA 40 – ESTIMATIVA DA DEMANDA OTIMIZADA DE ENERGIA QUÍMICA NA INDÚSTRIA.....	157
FIGURA 41 – CONSUMO GLOBAL OTIMIZADO DE ENERGIA EM FUNÇÃO DA PRODUÇÃO DE COMPENSADO .....	158
FIGURA 42 – CONSUMO DE ENERGIA GLOBAL OTIMIZADA POR VOLUME EM RELAÇÃO A PRODUÇÃO DE COMPENSADO .....	159
FIGURA 43 – CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA OTIMIZADA POR VOLUME EM RELAÇÃO A PRODUÇÃO DE COMPENSADO .....	160
FIGURA 44 – CONSUMO DE ENERGIA TÉRMICA OTIMIZADA POR VOLUME EM RELAÇÃO A PRODUÇÃO DE COMPENSADO.....	160
FIGURA 45 – CONSUMO DE ENERGIA QUÍMICA POR VOLUME EM RELAÇÃO A PRODUÇÃO DE COMPENSADO .....	161
FIGURA 46 – CONSUMO DE ENERGIA HUMANA POR VOLUME EM RELAÇÃO A PRODUÇÃO DE COMPENSADO .....	161



## RESUMO

Este trabalho trata do perfil e do uso de energia em uma indústria de painéis compensado no Brasil. O seu objetivo geral é corroborar para a melhoria da competitividade da indústria de compensado nacional. Especificamente visou conhecer o perfil do consumo energético na indústria, avaliar possibilidade de ganhos de eficiência no componente energético do processo produtivo e disponibilizar modelos matemáticos de consumo energético aplicado às indústrias de painéis compensado. O trabalho foi desenvolvido em uma indústria onde se realizou o levantamento da estrutura industrial e a quantificação dos energéticos consumidos. Esta quantificação considerou as formas de energia térmica, energia elétrica, a energia química e a energia humana. Foi obtido o consumo de energia global da indústria, por fase de conversão primária e secundária e por setores da indústria. Os resultados da análise do perfil energético indicam que existe boa relação entre o consumo de energia e a produção física de compensado na indústria analisada. No entanto, o aproveitamento do resíduo industrial não se dá de forma otimizada. O consumo global de energia foi de  $2201 \text{Mcal/m}^3$  de compensado. Para o consumo global da fábrica de compensado integrada à laminadora, o maior consumo é representado por energia térmica com  $1848 \text{Mcal/m}^3$  (84%), seguido por energia elétrica (8,3%) e energia química (7,7%). A energia humana representou menos de 1%. Considerando-se a localização do consumo de energia global, a maior parte ocorre na fábrica de compensado (82%). Dentro dessa unidade o maior consumo é representado pelo setor de secagem. Em relação a energia elétrica o consumo principal está concentrado na fábrica de compensado (86%) e dentro dessa unidade no setor de secagem. A energia térmica é consumida numa proporção de 27% na laminadora e 73% na fábrica de compensado, sendo o principal setor de consumo a secagem de lâminas (79%), seguindo da laminação (18%) e o menor consumo na prensagem de chapas (2%). Para a energia química o óleo diesel (cerca de 59%) se consome nas unidades industriais (laminação e fábrica), sendo o restante consumido na distribuição dos produtos. Especificamente para energia humana os setores de laminação, preparação e montagem das chapas, pela ordem, são os principais pontos de consumo. Devido a otimização do uso de energia, os ganhos de eficiência no componente energético possibilitam a redução do consumo global de energia (30%). O consumo de energia otimizado foi de  $1545 \text{Mcal/m}^3$ . O balanço de energia baseado no seu consumo otimizado indicou a independência da indústria de compensado quanto à demanda de energia térmica. Os melhores modelos de estatísticos para prognose do consumo otimizado de energia em função da produção de compensado apresentam em forma ou tendência de reta. Foi observado que a medida que aumenta a produção de compensado, diminui o consumo de energia por unidade de volume, representando ganho de energia na produção industrial.

## ***ABSTRACT***

This work deals with the energy profile and its utilization in an plywood industry in Brazil. The main objective is to contribute to the improvement of the competitiveness of the national plywood industry. Specifically, aimed to know the energetic consumption profile in the industry, to evaluate the possibilities of efficiency gains in the energetic components of the productive process and to determinate mathematics models of energy consumption applied to plywood industries. The research was conducted in an industry where the industrial structure was observed and energy consumption was quantified. These quantification considered the different energy forms: thermal, electrical, chemical and human. The total energy consumed in the industry was obtained, in the primary and secondary conversion steps and, for the industry sectors. The results related to the energetic profile showed a good relationship between the energy consumption and the physical plywood production in the studied industry, however, the industrial wastes management is not well conducted. The total energy consumption were 2201 Mcal/m<sup>3</sup> of plywood. For the total consumption of the plywood mill integrated to the veneer plant, the greatest consume is represented for thermal energy with 1848 Mcal/m<sup>3</sup> (84%), followed for electrical energy (8,3%) and chemical energy (7,7%). The human energy represented less than 1%. Related to the total energy consumption localization, the greatest part occurred in the plywood plant (82%). Inside this unity, in the drying sector. The thermal energy is consumed in a proportion of 27% in veneer production and 73% in the plywood plant, where the veneer drying sector consumes 79%, followed by the veneer rotary cut process (18%) and the lower consumption occurs in the panels pressing section (2%). For chemical energy, diesel oil (59%) is consumed in the industrial plant and the remaining for goods distribution. Specifically for the human energy, the veneers cutting process, preparation and assembling, are the main consumption points, in this order. The efficiency gains in the energetic component in reason of the energy optimization utilization reduces the total energy consumption in 30%. The optimal energy consumption was 1545 Mcal/m<sup>3</sup>. The energy balance based in the optimal consumption showed independence of the plywood industry to the thermal energy. The best mathematics models to estimate the optimal energy consumption in function of the plywood production showed a linear tendency. Observations showed that with increasing the plywood production, occurs a decrease in the energy per volume unity; this fact representing gain in the industrial production.

## 1. INTRODUÇÃO

O patrimônio florestal do Brasil é destacado. O Brasil detém 30% das florestas tropicais do planeta e grande biodiversidade florestal. Além disto, um significativo programa de reflorestamento incentivado pelo governo federal, que perdurou entre os anos de 1966 à 1988, permitiu a implantação de área superior a seis milhões de hectares de florestas. Atualmente, estima-se que vem sendo implantado uma média anual de duzentos e cinquenta mil hectares de novas florestas.

O Brasil é um País em que o setor florestal participa da formação de sua economia desde a sua origem, há cerca de quinhentos anos atrás, onde o primeiro ciclo econômico brasileiro ocorreu com a exploração do pau-brasil. Atualmente, o setor florestal apresenta um faturamento médio anual próximo de 30 bilhões de dólares, participando em aproximadamente 4% no produto interno bruto. Entretanto, esta representação pode ganhar mais importância para o País, a medida que houver por parte dos produtos do setor, uma maior atuação no comércio internacional.

O País se destaca como promissor na atividade florestal, em função de suas dimensões territoriais, clima, diversidade e tradição madeireira. Acredita-se, dada a exigência de qualidade e padronização global dos produtos e a grande experiência em florestar, adquirida nas últimas décadas, que a matéria-prima oriunda do reflorestamento será a grande propulsora do suprimento florestal para as indústrias do setor no futuro.

Em relação à atividade de reflorestamento, o setor florestal brasileiro tem acumulado, ano após ano, uma vitoriosa experiência, notadamente com espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*.

A indústria de base florestal no Brasil se concentra nas Regiões Sul, Sudeste e Norte. Nestas Regiões, sobressaem os Estados de Santa Catarina, do Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Pará e Mato Grosso como grandes produtores florestais brasileiros.

A matéria-prima florestal utilizada pelas indústrias é, predominante, de reflorestamento a base de *Eucalyptus* e de *Pinus* nas Regiões Sul e Sudeste e folhosas tropicais na Região Norte.

O setor florestal tem crescido substancialmente através dos segmentos de celulose e papel, painéis de madeira e madeiras serrada.

Entre os painéis de madeira no Brasil destaca-se o compensado. A industrialização do compensado, como segmento do setor florestal, já se encontra instalada no Brasil, segundo SOUZA (1947) desde o início do século XX. Atualmente, as indústrias de compensado são supridas principalmente por madeiras de *Pinus* de reflorestamento e folhosas. Em relação ao *Eucalyptus*, esboça-se os primeiros passos de seu uso para produção de lâminas.

A produção de compensado vem imprimindo um acentuado e contínuo crescimento no País, visando o mercado interno e externo. A participação do compensado brasileiro em relação a produção mundial do produto é cerca de 3%, onde, destaca-se como o segundo produto florestal brasileiro que tem maior participação no comércio mundial de produtos de madeira.

A fabricação de compensado se caracteriza por uma cadeia produtiva que inicia com o abate das árvores e segue com: transporte das toras, descascamento, obtenção de lâminas torneadas ou faqueadas, secagem das lâminas e formação da chapa compensada por meio da prensagem de lâminas coladas. No decorrer deste processo produtivo, ocorre significativas perdas de madeira gerando grandes quantidades de resíduos.

A indústria de compensado caminha no sentido de melhorar seus rendimentos, reduzir seus custos e, ainda, viabilizar a utilização geral dos resíduos gerados no processo industrial, para assegurar a competitividade no mercado.

Os resíduos representam um insumo energético valioso na indústria de compensado. Uma parte significativa deles é utilizada como fonte primária de energia, através da queima direta nas caldeiras visando basicamente a produção de vapor, para atender a necessidade de energia térmica. Por outro lado, acredita-se, ainda, que podem ser usados de maneira mais efetiva e racional e com isto contabilizar mais ganhos no processo produtivo.

A energia utilizada na formação do compensado compreende a térmica, a elétrica, a química e a humana. A térmica é obtida, na maioria das vezes, através da queima dos resíduos do processamento industrial da madeira e lenha; e destina-se ao aquecimento das toras, secagem das lâminas e prensagem a quente. Em alguns poucos casos é utilizada para produção de energia elétrica por meio do uso de turbo geradores de vapor. A energia elétrica é destinada para acionar motores elétricos e iluminação. Sua obtenção se faz, quase sempre, por intermédio de compra na rede concessionária. A energia química é utilizada nos veículos destinados a movimentação dos materiais. Por sua vez, a energia humana

representa a energia consumida no esforço físico dos trabalhadores envolvidos no decorrer da atividade industrial.

A energia consumida na indústria de compensado tem significativa participação na formação dos custos de produção. Para que se possa atuar neste elemento de custo é necessário conhecer o perfil do consumo energético (fontes, demandas e outros), avaliar a eficiência no uso e desenvolver modelo matemático que melhor possa ser utilizado na melhoria da eficiência global do uso energético.

## 1.1 OBJETIVOS

Este estudo tem como objetivo geral corroborar para a melhoria da competitividade da indústria de compensado nacional. Para tal os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- a) conhecer o perfil do consumo energético de uma indústria típica de compensado, localizada na Região Sul;
- b) avaliar as possibilidades de ganhos de eficiência no uso de energia;
- c) desenvolver e disponibilizar modelo de regressão para estimar o consumo e avaliar a eficiência energética de indústria de compensados.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 O SETOR FLORESTAL NO BRASIL

#### 2.1.1 Florestas Nativas

Os recursos florestais no mundo são da ordem de 3,4 bilhões de hectares (FAO, 1993a; BANKS, 1992). Esta área representa mais de um quarto (26%) da superfície continental da Terra, ou seja, o equivalente a 16% da superfície total do planeta é coberto com florestas; onde a maior parte destes recursos, cerca de 26,3%, está situada na América do Sul.

No contexto de nações privilegiadas com tais recursos florestais, o Brasil se apresenta no primeiro plano, sendo a segunda nação possuidora de maior área florestal nativa. A Rússia detém 25% do total da área do planeta coberta com recursos florestais; o Brasil 16,5%, seguido pelo Canadá com 7,1%, Estados Unidos da América do Norte 6,0%, China 3,7%, Zaire 3,3% e Indonésia 3,2% (SERRANO et al., 1998; FAO, 1993a).

O Brasil é um país de dimensões continentais com aproximadamente 8,5 milhões de km<sup>2</sup>, dos quais mais de 60% são cobertos por florestas naturais. A diversidade dos ecossistemas florestais é notável; incluindo 285 milhões de hectares de florestas úmidas na Região Norte; 180 milhões de hectares de cerrados no sudoeste e Centro-Oeste; 90 milhões de hectares de caatinga no Nordeste; além das extensas florestas na costa atlântica e no Sul (VIANA, 1992; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS/GERÊNCIA DE CERTIFICAÇÃO, 1998). Nesse contexto de florestas naturais no Brasil, sobressai a área coberta pela floresta amazônica que representa cerca de 40% do território nacional e aproximadamente 32% das florestas existentes no planeta (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 1991; GRAÇA, 1992).

A área total brasileira com cobertura de florestas naturais é de aproximadamente 560 milhões de hectares (VIANA, 1992; FAO, 1993a; FAO, 1993b). Este destacado potencial em recursos naturais florestais, remete o País como importante provedor de madeiras tropicais no cenário internacional (ANGELO, 1998).

### 2.1.2 Florestas de Alta Produção (Reflorestamento)

Em paralelo, com a importância das áreas de florestas naturais, merece ser citada a atividade de reflorestamento, que tem sido expressiva nas últimas décadas no Brasil.

Historicamente, o primeiro registro de reflorestamento no Brasil data de 1861, quando foi implantada a floresta da Tijuca no Rio de Janeiro com objetivo de recuperar mananciais de água e, na atualidade, é um ponto de referência turística naquele Estado. Após a introdução do eucalipto oriundo da Austrália por Navarro de Andrade em 1904, iniciara a implantação dos pioneiros projetos de florestamento com fins econômicos, sendo a madeira destinada a produção de lenha e dormentes para ferrovias (NAHUZ et al., 1998; SBS, 1990; ZUGMAN, 1994).

A cerca de trinta anos, com a edição de um programa de incentivos fiscais que vigorou até o final de 1987, surgiu um consistente programa de reflorestamento no Brasil que permitiu um grande avanço e expansão nas áreas de reflorestamento, com grande impulso, basicamente, para a implantação de florestas homogêneas (TOMASELLI, 1998b; BULHÕES et al., 1995; SBS, 1990). Por conseguinte, este programa induziu importante progresso na silvicultura brasileira, destacadamente para as espécies de *Eucalyptus* e *Pinus*, preparando o setor de base florestal com capacidade para a formação de florestas de alta produção.

A extensão atual da área com florestas implantadas é bastante significativa. A PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA (1991), através da Comissão Interministerial para a preparação da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento - CIMA -, analisando os dados oficiais do governo e de vários autores, estimou que a área de florestas implantadas em 1985 era de 6,7 milhões de hectares. Esta área equivale a 81% dos reflorestamentos realizados na América do Sul, que SERRANO et al. (1998) estimam em 8,2 milhões de hectares.

A SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA (1990) estima que do total da área implantada com florestas no Brasil, através de incentivos fiscais, cerca de 52% é de floresta de *Eucalyptus* e 30% de *Pinus*. O Brasil sobressai como o País que possui a maior área de plantações de eucaliptos do mundo, o equivalente a 27% da área global com eucalipto (COUTO, 1995; FAO citada por SERRANO et al., 1998).

O esforço do País na atividade de implantação de florestas, nas últimas décadas, aliado a atividade industrial madeireira, gerou larga experiência em plantar e utilizar a madeira de reflorestamento (SBS, 1990; GRESHAM, 1998).

Atualmente, observa-se, com sucesso, a formação das florestas implantadas com *Pinus* e *Eucalyptus*, gerando grande esperança que o reflorestamento possa prosperar de maneira adequada no Brasil, garantindo assim o suprimento regular de matéria-prima industrial (SBS, 1990, GRESHAM, 1998;1995). Ultimamente, vem ocorrendo um avanço no uso de madeiras oriundas de reflorestamento para produção de diversos produtos. Este redirecionamento, priorizando a industrialização de madeiras de florestas implantadas, trás um componente de política florestal importante, ou seja, reduz a pressão sobre florestas nativas, especialmente nas Regiões Sudeste e Sul do País.

A despeito das florestas implantadas representarem 3,5% das florestas existentes no Brasil, o volume retirado das mesmas corresponde em torno de 15% do total produzido. E é de se esperar que as pressões contra o corte de florestas naturais aumentarão, ainda mais, a demanda por produtos de florestas plantadas. Neste particular, deve-se ter em mente as vantagens brasileiras em comparação com os países de clima frio, onde as rotações das florestas situam-se entre 7 e 25 anos – dependendo do produto - , enquanto a dos países de climas frios ficam entre 80 e 100 anos (FREITAS, 2000).

O potencial para veicular novas e grandes áreas para atividade de reflorestamento visando madeiras para usos múltiplos é muito grande. Neste sentido, o documento elaborado pela PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA (1991) menciona que na evolução do uso da terra no Brasil, as implantações de florestas representou entre as décadas recentes de setenta e noventa às maiores taxas médias de crescimento, 9,78%, tendo como segundo uso em evolução, no mesmo período, a formação de pastagem com cerca de 6,33%. Este mesmo documento ressalta que 30% do território nacional é constituído de terras impróprias para a agricultura, mas aptas para atividade florestal. A utilização de metade desta área, ou seja, cerca de 1,2 milhões de km<sup>2</sup> em regime de manejo sustentável poderá produzir cerca de 300 milhões de toneladas de madeira, mais que o dobro da produção prevista para 2010. Por outro lado, a utilização de uma parte desta área para formação de florestas de alto rendimento permitiria aumentar significativamente este potencial florestal.

Em síntese, o potencial do recurso florestal brasileiro se alicerça em duas vertentes, quanto a origem da matéria-prima, de um lado as florestas naturais,



predominantemente pela floresta tropical amazônica e de outro lado, as florestas oriundas dos reflorestamentos centrados nas espécies de *Eucalyptus* e de *Pinus*.

### 2.1.3 Produção Florestal

O setor de base florestal ao longo da história, segundo FRANCO (1991), apresenta-se em dois estágios: no primeiro estágio, a produção florestal foi responsável pela devastação dos maciços florestais nativos como os existentes na mata atlântica ou floresta de pinhais. O estágio atual, com melhor grau de industrialização e do uso da matéria-prima, é caracterizado por um parque tecnológico importante, onde a produção de madeira para fábricas de celulose e papel, de móveis, de madeiras serradas e laminadas e de outros produtos de exportação, além da utilização energética, são fundamentais para o País.

O Brasil é o País que mais produz madeira na América do Sul. A produção brasileira anual é da ordem de 272 milhões de metros cúbicos para todos os usos, ou seja, 73,5% de toda a produção do continente. Desta produção, utiliza-se cerca de 190 milhões de metros cúbicos (70%) para fins energéticos (FAO, 1993a; FAO, 1993b; SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA, 1990). O restante, em forma de toras industriais, é destinado para produção dos principais produtos primários como polpa, serrados, lâminas e painéis de madeira.

O Brasil detém uma produção florestal expressiva e em franco desenvolvimento. Na Tabela 1 são apresentados a produção anual dos principais produtos brasileiros entre o final da década de oitenta e final da década atual. Uma tendência de alta na produção de quase todos os produtos é observada ao longo deste período.

A contribuição à economia é mostrada pela participação do setor florestal com cerca de 4% no produto interno bruto (PIB) (FRANCO, 1991; FAO, 1993a; BORATTO, 1993 e 1994; ZUGMAN, 1994). Partindo das afirmações destes autores, estima-se que o setor florestal brasileiro, através da comercialização de produtos, pode gerar um faturamento global anual por volta de 30 bilhões de dólares, tendo a participação de produtos a base de madeira e não madeiráveis oriundos das florestas. Este é um valor relativamente significativo para um setor que não conta com uma política oficial de incentivos, muito embora, o potencial florestal do País possa ir muito além desta cifra.

TABELA 1. PRODUÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTOS DE MADEIRA

PRODUTO	PRODUÇÃO (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ) - 1987/88	PRODUÇÃO (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ) – Atual	% DA PRODUÇÃO MUNDIAL - Atual
Serrados			
• Tropical (Folhosas)		14.000m <sup>3</sup>	11,3
• Pinus (Coníferas)		4.230m <sup>3</sup>	1,4
Subtotal	16.790	18.230m <sup>3</sup>	4,3
Painéis de Madeira			
• Compensado	950	1.650m <sup>3</sup>	3,1
• Aglomerado	750	1.150m <sup>3</sup>	1,9
• Chapa dura	636	670m <sup>3</sup>	8,1
• MDF	-	20m <sup>3</sup>	0,1
Subtotal	2.336	3.490m <sup>3</sup>	2,7
Polpa	3.664	6331 ton	1,2
Papel		6517ton	2,2

FONTE: TOMASELLI, (1998b); SBS, 1990; ABIMCI, 1995; ABIMA, 1992

Atualmente, considerando-se a produção brasileira de madeira, estima-se que o consumo “per capita” seja de aproximadamente 2 m<sup>3</sup> ao ano. Este valor representa 3,5 vezes a média mundial, que FREITAS (2000) menciona como sendo de 0,58 m<sup>3</sup> ao ano.

A atividade florestal, mesmo durante os anos oitenta e início da década de noventa - considerado pelos economistas como período ou década perdida do ponto de vista de desenvolvimento nacional - manteve-se com um certo nível de expansão econômica e industrial. COUTO (1995), com base em dados da FAO, menciona que os principais segmentos do setor florestal, como serrados, painéis e papel, têm crescimento anual da ordem de 5,94%, 9,37% e 7,85%, respectivamente.

Atualmente verifica-se que o Brasil é um grande produtor de bens florestais e entretanto, historicamente, o desempenho das exportações de produtos florestais são pouco expressivas em relação ao produto interno florestal. FAO (1993a,b) e BORATTO (1994) afirmam que em termos relativos, os valores das exportações representam cerca de 11 a 13% da produção geral. Nas circunstâncias atuais, o Brasil se porta como uma nação auto-produtora de produtos florestais. A grande presença dos produtos florestais brasileiros no

comércio internacional vai mudar, a partir do momento que conseguir aumentos importantes na sua produção interna. Para tal, há necessidade de implantação de uma política florestal de médio e longo prazo e mais investimentos por parte do setor florestal privado.

Por outro lado, o Brasil tem uma participação destacada na produção mundial de certos produtos. TOMASELLI (1998b) destaca a contribuição de serrados baseados em madeira tropical com 11,3% e chapas duras com 8,1% da produção mundial.

#### 2.1.4 Mercado dos Produtos Florestais

O principal mercado para a colocação dos produtos florestais brasileiros têm sido o mercado interno e deverá permanecer como grande potencial (REVISTA DA MADEIRA, 1998). De certa forma, o Brasil é auto-produtor e consumidor de produtos florestais, uma vez que, segundo TOMASELLI (1998b), a contribuição brasileira no comércio internacional de madeira é pequena, apenas 2,1%. A fatia atual que os produtos florestais brasileiros dispõem no mercado externo é incompatível com seu potencial florestal.

Os produtos brasileiros que tem maior participação no comércio internacional são alguns painéis de madeira, como a chapa dura com 11%, seguida do compensado com relativos 2,9% (Tabela 2).

TABELA 2. COMÉRCIO INTERNACIONAL DE PRODUTOS DE MADEIRA E A CONTRIBUIÇÃO DO BRASIL

PRODUTO	TOTAL (US\$10 <sup>3</sup> )	BRASIL (US\$10 <sup>3</sup> )	%
Tora	11.131.000	25.800	0,2
Serrados	24.580.000	345.000	1,4
Compensado	8.676.000	248.000	2,9
Aglomerado	3.483.000	22.500	0,6
Chapa Dura	754.000	83.700	11,1
MDF	1.000.000	-	0,0
OUTROS	92.376.000	2.285.000	2,5
TOTAL	142.000.000	3.010.000	2,1

FONTE: FAO, SEDEX e Banco de Dados da STCP citados por TOMASELLI (1998b)

Na Comunidade Econômica Européia, conforme SIMULA e TISSARI (1998), o Brasil tem uma participação relativamente importante no segmento de madeira serrada tropical, disponibilizando cerca de 7 a 8%. Neste mercado, o País é o quinto maior fornecedor, sendo o primeiro da França e Portugal, na colocação de madeira serrada.

#### 2.1.5 Perspectiva Futura

Existem perspectivas favoráveis para melhorar a participação dos produtos florestais brasileiros no comércio internacional de madeira. Segundo SERRANO et al. (1998), apesar das crises financeiras do momento que afetam os mercados de produtos de madeira, o setor florestal continua dinâmico e não há evidências que devem mudar a sua tendência de crescer ao longo do tempo.

Inicialmente, existe potencial de mercado para madeiras em toras oriundas de reflorestamento, gerando boas possibilidades a curto prazo (TOMASELLI e SIMULA, 1998).

Há previsão de que o consumo de madeira roliça para fins industriais vai crescer dos 1,6 bilhões de metros cúbicos registrado em 1991 para 2,65 bilhões de metros cúbicos por volta do ano 2010; enquanto o consumo de serrados deverá passar de 745 para 756 milhões de metros cúbicos e o de painéis de madeira crescerá de 121 para 313 milhões de metros cúbicos no mesmo período (GRESHAM, 1995; FAO, 1993a).

Nesta direção, TOMASELLI (1998b) menciona o rápido crescimento do comércio internacional com uma evolução de 350% nos últimos vinte anos, passando de 31 bilhões de dólares para 140 bilhões atualmente.

Salientando a importância do comércio internacional de produtos florestais, LASTRA (1998) menciona que seu porte é 24% maior em relação a soma dos mercados globais de laticínios, carnes e cereais.

Por outro lado, existem previsões como a mencionada por GRESHAM (1995), que apontam para uma escassez de madeira em certos mercados. A redução da oferta de madeira, de maneira mais particular a de origem tropical, estaria relacionada com pressões para a preservação das florestas.

Segundo ANGELO (1998), citando o modelo TROPFARM da Universidade de Oxford apresentado no relatório do Harvard Institute for International Development (HIID)

em 1997, com a presumível queda da produção florestal asiática; a América Latina responderá com um volume cada vez maior de participação. Neste sentido indústrias instaladas na Ásia buscam parcerias ou novas instalações industriais em países como o Brasil. Há notícias de algumas indústrias, dentro desta nova ótica, sendo instaladas na Amazônia.

Esta constatação se torna valiosa, visto que o consumo de madeira “per capita” guarda uma relação direta com o crescimento populacional; daí, portanto, segundo FREITAS (2000), a demanda por produtos de madeira aumentará ao redor de 70 milhões de metros cúbicos a cada ano, trazendo um desafio ao setor produtivo, e que certamente, tentará colocar boa parte desta demanda adicional sobre a produção das florestas plantadas.

FREITAS (2000) menciona outras vantagens favoráveis ao futuro da atividade florestal no Brasil como: as madeiras provenientes de florestas implantadas no País estão entre as de menor custo no mundo; a velocidade com que surgem novos produtos a base de madeira, notadamente no tocante a painéis de madeira reconstituída; os produtos que poderiam ser substitutos da madeira não são opções muito viáveis, via de regra, são grandes consumidores de combustíveis fósseis e fontes emissoras de dióxido de carbono; a árvore está sendo melhor aproveitada, redundando em menores perda de matéria-prima; e ainda, com a globalização, o capital vem se concentrando em grandes grupos com presença em vários países e intensificando a competição, no âmbito regional e internacional, no crescente mercado de produtos de madeiras.

As exportações de produtos florestais pela América Latina vêm aumentando nas últimas três décadas; foi o maior crescimento relativo das exportações mundiais entre os anos de 1978 e 1991 (SMITH 1993).

Em tais circunstâncias, a exploração do potencial florestal madeireiro desperta o interesse de diversos setores da economia nacional e internacional, principalmente em decorrência do aumento da demanda internacional de madeira tropical e da exploração exaustiva das florestas tropicais da Ásia, que fornecem a maior parte da madeira tropical no mercado internacional até o momento (ANGELO, 1998; MOUSASTICOSHVILY JR. e GRAÇA, 1991).

A REVISTA DA MADEIRA (1998) vislumbra uma situação futura de destaque da posição do setor de base florestal brasileiro no mercado internacional de madeira. A concretização deste objetivo está veiculada a importância do mercado internacional como alternativa de colocação dos produtos brasileiros; a grande margem para conquista de

espaço neste mercado; a versatilidade do País tanto com produtos oriundos de floresta nativa tropical quanto de reflorestamento; a realidade de novos investimentos em florestas e indústrias, como recentemente a instalação de algumas fábricas de MDF.

Segundo GRESHAM (1995) a madeira oriunda de reflorestamento constitui pequena parcela dos volumes comercializados a nível internacional, mas, está se tornando, cada vez, mais importante novos usos e volumes mais significativos de madeira de reflorestamento. Por outro lado, o reflorestamento é centrado num número pequeno de espécies. GRESHAM (1995) e NAHUIZ et al. (1998) destacam que a maioria das espécies de reflorestamento tendem a ser usadas em peças de pequenas dimensões para móveis e para todo o tipo de artefato de madeira, bem como para uso estrutural na construção civil.

Nesta linha de mercado, aos pouco, está surgindo investimentos por parte das grandes indústrias de celulose e papel e siderúrgicas para produção de produtos sólidos de madeira proveniente de reflorestamento (MENEZES, 1998).

A SBS (1990), fazendo um cenário sobre o setor florestal, afirma que as florestas brasileiras terão sempre uma importância clara no desenvolvimento sócio - econômico nacional; no setor florestal produtivo e, ainda, para atender a política de conservação e preservação dos recursos naturais.

#### 2.1.6 Importância Social

Não há dados precisos que mostram a importância do setor de base florestal para a sociedade brasileira. Mas ao verificar a sua importância econômica e uso intensivo de mão de obra, tanto nas fases de produção e condução de florestas bem como na industrialização, é de supor um papel de destaque da atividade florestal para o País. Neste sentido, IWAKIRI (1992) afirma que a contribuição social do setor florestal é altamente significativa.

Num momento em que o País vive uma grande dificuldade social, notadamente em relação a criação de empregos, é bom evidenciar que a atividade florestal, normalmente, usa a mão-de-obra de maneira intensiva. Neste sentido, CENTENO (1998) destaca a importância do setor florestal como meio gerador de empregos nas áreas rurais, dado ao uso da mão-de-obra em grandes quantidades nas implantações, manutenção e manejo das florestas; citando que plantações de gestão intensiva, como as florestas, podem criar inúmeros empregos no campo.

Em relação aos empregos gerados pelo setor florestal no Brasil há controvérsias quanto a precisão dos postos de trabalho existentes. IWAKIRI (1992), com base num trabalho de Reis de 1989, cita que, naquela data, o setor contribuía com cerca de 360 mil empregos diretos. Com dados mais recentes, BORATTO (1993; 1994) menciona que o setor gera 1,2 milhões de empregos diretos, especialmente na produção de celulose, chapas de madeira e serrados. Na transformação secundária da madeira, a indústria moveleira, segundo LIMA (1998), emprega cerca de 300 mil trabalhadores diretamente na produção, gerando 1,5 milhões de empregos diretos, indiretos e correlatos.

Por sua vez, a ABPM, em 1994, estima que o setor de base florestal gera uma quantidade significativa de empregos na forma direta e indireta, que consome aproximadamente 3,5% da população economicamente ativa do meio rural do País. Aliado aos dados do IBGE (1997), esta afirmação representa um número de empregos diretos na ordem de 1,3 milhões no setor florestal brasileiro. Este número corresponde a cerca de 8% da população economicamente ativa na atividade agrícola.

FREITAS (2000) numa palestra sobre “O setor florestal em perspectiva” realizada por ocasião das festividades de 40 anos da Engenharia Florestal promovida pela Universidade Federal do Paraná, mostra os avanços da atividade florestal no Brasil no que tange as vertentes econômicas, ambientais e sociais. Ele afirma que as atividades florestais no Brasil cumprem, de forma variada, importantes obrigações sociais. Um exemplo, é o número de empregos por área cultivada. No setor florestal se encontra a melhor relação de empregados por hectare utilizado, se comparado com as atividades agrícolas e pecuárias, sem levar em conta também os negócios florestais que recrutam um dos maiores números de funcionários por valor investido. Os investimentos no setor florestal, ainda segundo FREITAS (2000) geram perto de 1,6 milhões de empregos diretos e 5,6 milhões de empregos indiretos, além de contribuir em forma de sinergia com as áreas de Tecnologia, Pesquisa e Educação no País.

## 2.2 A INDUSTRIALIZAÇÃO DO COMPENSADO NO BRASIL

### 2.2.1 Desenvolvimento Industrial

O compensado é um dos produtos florestais mais antigos. As lâminas, matéria-prima do compensado, eram utilizadas no Egito para manufatura de utensílio e móveis, desde a época dos faraós. Em compensado, em escala industrial, é conhecido no mercado de produtos de madeira desde o final do século passado com o surgimento de sua industrialização na Europa (ZUGMAN, 1994; 1998).

Segundo TOMASELLI (1998b) o compensado foi o primeiro painel de madeira desenvolvido industrialmente e marcou nova fase no mercado de produtos de madeira no início do século vinte.

O compensado vem sendo produzido no Brasil há cerca de 70 anos. A indústria de compensado foi instalada no final da década de vinte em Curitiba e São Paulo (SOUZA, 1947). Simultaneamente com a criação do Instituto Nacional do Pinho com objetivo de atender, em princípio, a demanda do mercado europeu (DELESPINASSE, 1995).

A indústria de compensados, conforme mencionado por CALADO (1994), cresceu e expandiu-se em virtude da abundância de matéria-prima; com o advento do conflito mundial de 1939/1945 e na inevitável modificação do comércio internacional. Assim, o País iniciou a industrialização e comercialização de produtos que incorporavam melhor tecnologia em relação às tradicionais serrarias, com o surgimento das fábricas de compensado.

Em 1946, inicia-se a produção de compensado à prova d'água, onde até 1950 todos eram colados quase que exclusivamente com caseína e prensados a frio. Só entre os anos de 1950/1952 é que se começou produzir pratos com aquecimento por resistências elétricas que eram adaptadas às prensas existentes; neste mesmo período começava intensivamente a utilização de cola à partir de resinas sintéticas (CALADO, 1994).

Em 1953, com reduzido consumo de 100 ton/mês de resinas sintéticas em todo o Brasil, o setor situava-se ainda no limiar da moderna industrialização da madeira compensada. Em torno de 1960, é iniciado a produção de compensado decorativo (lâminas faqueadas). Nos anos que se seguiram, a indústria foi crescendo timidamente, voltada, principalmente para o consumo interno. Os compensados à prova d'água, que exigem baixos percentuais de umidade das lâminas, só ganharam maior produtividade a partir da produção de secadores contínuos, por volta dos anos 60. O maior progresso do setor se deu nos anos setenta, na época do milagre econômico, quando industriais importaram, em maior número, máquinas e equipamentos modernos (CALADO, 1994; ZUGMAN, 1994).

Inicialmente a indústria brasileira de compensado foi voltada ao atendimento do mercado interno, mas de alguns anos para cá, tem havido um esforço visando colocar o



produto no mercado externo. Atualmente, quase a metade de nossa produção já é exportada para diversas nações. A evolução da exportação brasileira, mostra um crescimento da industrialização do compensado em qualidade e produção; no entanto, é ainda pequena, em números globais e internacionais (ABIMCI, 1995).

### 2.2.2 Processo de Produção

A maioria das espécies arbóreas podem ser utilizadas na obtenção de lâminas de madeira. As folhosas são mais facilmente transformadas em lâminas que as coníferas. O principal fator é a maior resistência aos esforços de flexão apresentado pelas folhosas. A razão está relacionada ao menor conteúdo de lignina nas folhosas a ao fato de ser mais termoplástica que as coníferas (LUTZ, 1978).

Durante um bom período, até início da década de noventa, a matéria-prima florestal para a indústria de compensado se originou das florestas nativas com participação de até 85% e o reflorestamento com o restante (ABIMCI, 1995). Mudanças recentes têm ocorrido neste segmento. Cada vez mais aumenta a participação de florestas implantadas na Região Sul, especialmente de Pinus, para a disponibilização de matéria-prima para a fabricação de compensados.

Nas operações de laminação, secagem e colagem, um fator com grande influência é a permeabilidade. Uma madeira de boa permeabilidade pode diminuir o problema de eliminação de água durante a secagem e melhorar as condições de colagem devido a eliminação do vapor d'água desprendido durante a cura da cola (LUTZ, 1978).

Antes da laminação é feito o descascamento e arredondamento da tora. Segundo OLIVEIRA (1988), a tecnologia para descascar toras de madeira para obtenção das lâminas e formar o compensado por prensagem de 3 ou mais lâminas coladas, foi desenvolvida no fim do século XV. Já a produção industrial, iniciou-se no século XX e cresceu rapidamente na Europa e nos Estados Unidos.

A laminação da madeira pode ser obtida de três formas:

a) Lâminas torneadas - são obtidas a partir do “desenrolamento” de toras grossas, relativamente curtas, utilizando um torno laminador no qual se faz girar contra o gume de uma longa faca, formando um lençol contínuo de lâminas.

b) Lâminas faqueadas - são obtidas à partir de cortes planos feitos por uma faqueadeira em peça de madeira não roliça (pranchão), obtendo-se folhas de lâminas decorativas que são usadas para revestimentos em geral.

c) Lâminas serradas - são lâminas obtidas pelo processo de desdobro da madeira em finíssimas tábuas, o que hoje é pouco comum (BONNEMANN, 1986).

A produção de lâminas de alta qualidade exige certas condições, sendo as mais importantes: espécie adequada, tornos sem vibração, geometria correta para laminação em faqueadeiras, substituição das facas em tempo certo (OLIVEIRA, 1988; KEINERT JR., 1994).

As características mais importantes que devem ser levadas em consideração para definir a qualidade das lâminas são: uniformidade de espessura, rugosidade de superfície, fendas de laminação, deformações, cor e figura. Uma lâmina ideal poderia ser definida como aquela uniforme em espessura, com rugosidade não maior que a de sua própria estrutura, plana, sem fendas, de cor e figura agradáveis (LUTZ, 1978; REVISTA DA MADEIRA, ANO 6).

Feihl & Godin, citados por JANKOWSKI (1978), indicaram que a variação na espessura afeta a colagem e outras operações na fabricação de compensados.

Os principais equipamentos destinados a produção de lâminas são o torno laminador e a faqueadeira.

No torno laminador, a tora é previamente condicionada em tanques para aquecimento, depois levada até a máquina onde é centrada em fusos e fixada nos extremos através de garras. As garras retráteis conferem movimento rotativo à tora, que com a aproximação da faca resulta na obtenção de lâminas de madeira de tamanho desejado. Após arredondar a tora, a faca produz lâmina contínua. Este tipo de corte contínuo tem vantagens como maior produção com uma dada velocidade de corte, folhas de lâminas mais largas e condições de corte mais uniformes (KEINEIRT JR., 1994; WALKER, 1996; REVISTA DA MADEIRA, ANO 6).

A obtenção de lâminas por faqueadeira exige previamente que a tora seja transformada em blocos ou pranchões por meio de serras mecânicas, de forma a apresentarem superfícies planas. O bloco de madeira é fixado na máquina utilizando garras retráteis, que permitem manter com firmeza grandes peças de madeira. Como resultados de movimentos alternativos (vertical ou horizontal) são produzidas lâminas através do impacto

da peça contra a faca. A lâmina obtida por meio de faqueadeira apresenta a grã mais decorativa, vantajosa para formar figura ou desenho (KEINERT JR., 1994).

Em ambos os equipamentos, a espessura da lâmina de madeira é controlada pela combinação de ajuste dos elementos fundamentais: a faca e a barra de pressão, que são similares em tais máquinas.

As lâminas são obtidas com teor de umidade variando entre 30 e 110%, em função da espécie de madeira, tipo (cerne e alborno) e dos pré - tratamentos utilizados como aquecimento água/vapor. O teor de umidade final da lâmina necessário ao fabrico do compensado deve situar na faixa de 6 a 12%, em função do tipo de adesivo (KOLLMANN & COTÊ, 1968).

As lâminas têm processo de secagem menos difícil do que a secagem da madeira serrada, devido a sua menor espessura. O afrouxamento da estrutura da madeira decorrido do flexionamento da lâmina no decurso das operações de desenrolamento ou de faqueamento, reduz a resistência interna ao movimento de água na madeira. A secagem da lâmina se processa em três fases: a) um pequeno tempo de aquecimento até atingir o ponto de orvalho, com a condensação do vapor de água sobre a superfície; b) período de aquecimento a temperatura constante, durante o qual, a água de capilaridade é evaporada à taxa de secagem constante e c) secagem abaixo do ponto de saturação das fibras, quando a temperatura da lâmina aumenta rapidamente e se aproxima da temperatura média de secagem (IWAKIRI, 1994)

O compensado é um produto obtido pela colagem de lâminas de madeira, sobrepostas com fibras cruzadas perpendiculares, formando painéis de grande resistência mecânica.

O processo produtivo de compensado, com base em DELESPINASSE (1995) e ITTO (1991), de forma geral e resumida, pode ser descrito nas seguintes operações: recebimento e preparação de toras, produção de lâminas, corte, secagem, emendas de lâminas, aplicação de cola, prensagem a quente, esquadrejamento, lixamento e classificação das chapas. Assim na manufatura do compensado sobressai os setores de laminação; geração de vapor; secagem; preparação, montagem e prensagem da chapas; acabamento e movimentação de materiais.

A industrialização do compensado se dá em duas fases de processamento: o processo de conversão primária e o processo de conversão secundária, conforme se verifica em KEINERT Jr., (1980); DIRETORY OF ALABAMA FOREST INDUSTRIES (1990);

WALKER, (1996) e MARRA (1964). A conversão primária trata da transformação da tora em lâminas e em sarrafos. A conversão secundária refere a formação das chapas compensadas. Inclui neste processamento os setores de secagem das lâminas, preparação, montagem, prensagem e acabamento das chapas. Os setores de geração de vapor e movimentação de materiais são coadjuvantes em ambos os níveis de processamento.

### 2.2.3 Produto e Utilização

O compensado é um produto que apresenta inúmeras aplicações em vários segmentos da economia, e é utilizado na fabricação de móveis, na construção civil, na indústria automobilística, para embalagens e outras áreas (TOMASELLI, 1988). A aplicação mais freqüente no Brasil é na indústrias de móveis e de construção civil.

O compensado é produzido sob duas principais especificações básicas:

- a) para uso interno com colagem à base de resina de uréia-formaldeído;
- b) para uso externo com colagem à base de resina de fenol-formaldeído;

Segundo TOMASELLI (1988), basicamente, existem dois tipos de compensado: o multilaminado e o sarrafeado. O multilaminado é uma chapa com múltiplos usos e, cuja montagem, é feita basicamente por lâminas dispostas perpendicularmente uma das outras com relação a direção da grã da madeira, e sempre em número impar de camadas. Por sua vez, o compensado sarrafeado é a chapa basicamente de uso na movelaria e cujo miolo é formado por sarrafos estreitos, sendo aplicado na superfície lâminas de madeira. Em ambos os tipos, os componentes das chapas são mantidos unidos por um adesivo ou cola.

A produção de compensado no Brasil é regida por normas, registradas junto a entidades competentes, como INMETRO e ABNT, que visam procedimentos, especificação, padronização, terminologia, classificação e métodos de ensaios. Segundo TOMASELLI (1988), o compensado no Brasil pode ser classificado em:

. Compensado industrial - a chapa tipo industrial é aquela que possui a menor restrição em termos de aparência da superfície. Mas por outro lado, é exigida boa resistência mecânica e o adesivo utilizado deve ser do tipo à prova d'água. A utilização do produto é muito ampla, destacando-se para embalagens;

. Compensado naval - são chapas classificadas genericamente como de uso exterior, com alta resistência mecânica e montagem perfeita. Usa-se adesivo do tipo a prova

d'água. Estas chapas são destinadas normalmente ao uso em aplicações que exigem contato direto com a água;

. Compensado decorativo - estas chapas recebem na sua superfície uma lâmina de madeira considerada decorativa e a colagem deve ser do tipo intermediária, ou seja, pode ser utilizada em locais de alta umidade relativa e, eventualmente, entrar em contato com a água. O uso final deste produto é na fabricação de móveis;

. Compensado forma de concreto - são chapas de compensado multilaminadas, e cuja colagem é a prova d'água, admitindo-se, portanto, o uso exterior. Este produto é largamente utilizado no setor de construção civil;

. Compensado de uso geral - são chapas multilaminadas e cujo adesivo empregado na sua fabricação restringe ao uso interno. Este tipo de compensado tem grande uso na movelaria.

#### 2.2.4 Produção de Compensado

O Brasil possui, segundo a ABIMCI (1998) e ZUGMAN (1998), cerca de 300 fábricas de compensados, centradas, na sua maioria na Região Sul do País, sendo o Estado do Paraná o seu pólo mais importante, seguida pela Região Norte. Este número de fábricas é bastante elevado quando comparado com o número de unidades instalada em outros países produtores (Tabela 3).

Analisando a produção e exportação de compensado, TOMASELLI (1988) verificou que no ano de 1973, as fábricas brasileiras possuíam uma capacidade média de  $3.240\text{m}^3/\text{ano}$ , enquanto que no Canadá, país grande produtor florestal, a média atingia  $80.880\text{m}^3/\text{ano}$ . No final da década de noventa, a capacidade média das fábricas no Brasil é de  $7.330\text{m}^3/\text{ano}$ , todavia, passados cerca de 25 anos, esta estrutura centrada em unidades industriais de pequeno porte, permanece quando comparada a estrutura de produção no País em relação a outros países produtores (Tabela 3).

De acordo com ZUGMAN (1998), em função deste menor porte, a indústria de compensados no Brasil, ao contrário de outros países produtores, tem uma grande parcela delas não integradas. Assim, o suprimento de muitas unidades é dependente de produtores de lâminas. Esta predominância de pequenas unidades não verticalizadas limita a atuação efetiva na exportação, uma vez que nos demais países a indústria é predominantemente integrada.

TABELA 3. ESTRUTURA DE PRODUÇÃO NA INDÚSTRIA DE COMPENSADOS NO BRASIL EM RELAÇÃO A OUTROS PAÍSES

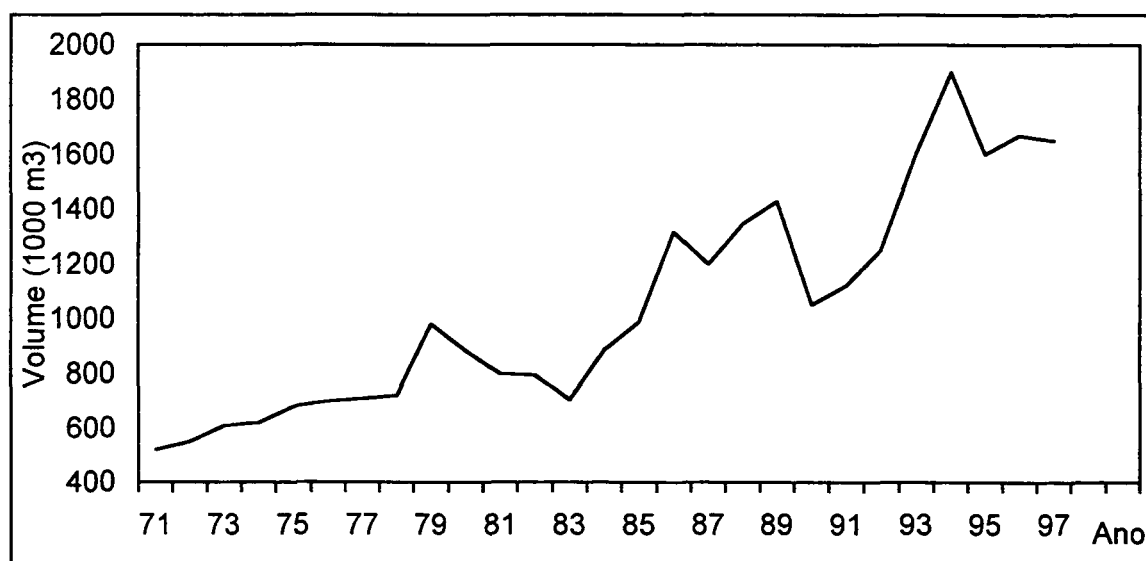
PAISES	Número de Fábricas	Empregos Diretos	Capacidade Instalada (1000m <sup>3</sup> /ano)	Capacidade Média (m <sup>3</sup> /ano)
Brasil	300	21.000	2.700	7.330
Equador	8	1.900	100	12.500
Indonésia	117	11.000	8.200	70.080
Malásia	79	29.000	2.900	36.700

FONTE: ITTO/ABIMCE, 1998 citados por ZUGMAN (1998)

No que pese a realidade brasileira, de uma indústria segmentada, existe uma evolução no nosso parque de produção de compensado.

A evolução da produção brasileira de compensado no período de 1971 à 1997 é verificada na Figura 1. Neste período, houve uma evolução na produção de compensado de cerca de 230%, representando uma significativa taxa de crescimento anual de cerca de 8,85%. Este significativo crescimento se deu devido a colocação do produto no mercado externo e a expansão do mercado interno.

FIGURA 1. EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE COMPENSADOS NO BRASIL



FONTE: IBDF (1985); OLIVEIRA (1988); STCP (1997); ZUGMAN (1998)

A capacidade instalada de produção de compensados no Brasil, segundo ABIMCI (1998), é de aproximadamente 2700 mil m<sup>3</sup>/ano; a produção nos últimos anos está em torno

de 1.600 à 1.900 mil m<sup>3</sup>/ano; a ociosidade nas indústrias está inferior a 40% (Tabela 4). Ressalta-se, que o segmento de compensado enfrentou muitas dificuldades, no início da década de noventa, onde a produção efetiva tem sido cerca de 60% da sua capacidade real de produção. Isto decorre, em parte do próprio crescimento do parque industrial, e, vez ou outra, devido a oscilação no preço do produto.

TABELA 4. EVOLUÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA DA INDÚSTRIA DE COMPENSADOS NO BRASIL (1000M<sup>3</sup>/ANO).

ITENS	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Capacidade Instalada	1.850	1.900	1.950	2.000	2.200	2500	2700	2700
Produção Atual	1.050	1.116	1.250	1.600	1.900	1600	1700	1600
Inocupado (Ociosa)	800	784	700	400	300	900	1000	1100
	(46%)	(42%)	(36%)	(20%)	(14%)	(36%)	(37%)	(41%)

FONTE: ABIMCI, 1995 e 1998.

O centro fabril do segmento de compensado ao longo de sua existência tem sido a Região Sul do País. Nesta Região se destaca o Estado do Paraná como pólo industrial de compensado. Mas a partir das décadas de 1970 e 1980, deslocou-se gradativamente para a Região Norte, onde fluem, de forma cada vez mais constante, os capitais de grupos industriais do Sul. O Estado do Pará representa o polo de industrialização de compensado do Norte do Brasil (ZUGMAN, 1994; ABIMCI, 1995).

Neste cenário, a ABIMCI (1995) menciona que empresas de compensado já estabelecidas, estão se instalando ou pretendem implantar unidades industriais na Região Norte, embora ainda mantenham fábricas no Sul. Isto decorre de um motivo básico: matéria-prima. Segundo a ABIMCI são dois universos distintos. De um lado, a Região Norte, projeta-se como o mais expressivo centro industrial produtor de lâminas e compensado de espécies tropicais nativas; enquanto a Região Sul do País, permanecerá nesse segmento, imbatível no processamento de madeiras de coníferas, provenientes de florestas plantadas, principalmente de *Pinus*. Deste modo, a consolidação do parque de produção de compensado no Norte do Brasil fornecerá suporte para ampliação da capacidade instalada, objetivando o fornecimento tanto para o mercado interno quanto ao externo.

O Estado do Pará, segundo AIMEX (1995) exportou cerca de 80 milhões de dólares em 1993, que representou 72% do total da Região Norte. Em 1994, este Estado exportou

95% do volume de sua produção para Estados Unidos, Caribe, Países do Golfo, Reino Unido, Japão e Norte da Europa - por ordem quantitativa. Merece destacar, com base nos dados da AIMEX, que o Pará representou 24% do total das exportações brasileiras de compensado em 1994

Por sua vez, o Paraná é o principal estado brasileiro produtor de compensado e grande consumidor de lâminas providas da região norte (ABIMCI, 1995). Merece salientar que o principal porto de saída de compensado brasileiro é o de Paranaguá, localizado no Paraná, por onde passa cerca de 50% das nossas exportações deste tipo de painel de madeira.

### 2.2.5 Consumo de Compensado

A maior parte do compensado produzido no Brasil é destinada historicamente ao mercado interno. Mas há que se destacar, que em determinados períodos, parte significativa da produção nacional de compensado é disponibilizada para o comércio internacional (Tabela 5). Entre os anos de 1991 à 1997, as exportações de compensado representavam um valor médio de 42% da produção geral brasileira. A partir de 1995, houve uma queda no volume de compensado destinado as exportações (Figura 2). A consequência desta retração se deve ao fato do preço e da demanda internacional de compensado haverem retraídos.

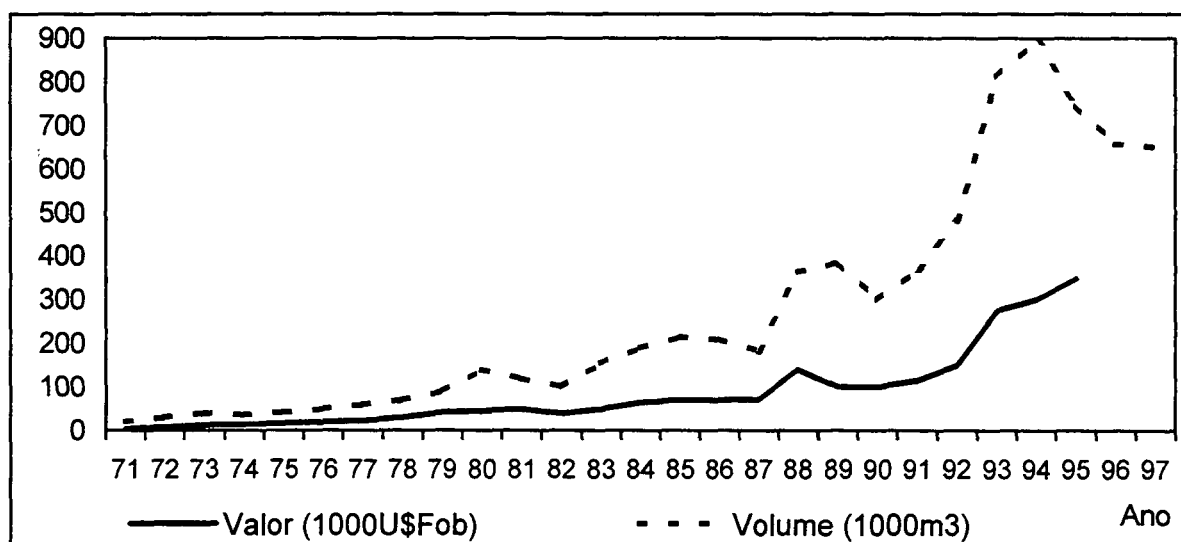
TABELA 5. PRINCIPAIS MERCADOS DO COMPENSADO BRASILEIRO (1000m<sup>3</sup>)

MERCADO \ ANO	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Doméstico	751	770	787	1.002	852	1.012	1.000
Internacional	369	480	813	898	748	658	650
EUA	39	94	211	239	187	175	173
Reino Unido	76	97	174	205	188	184	182
Bélgica	18	45	73	69	65	37	36
Porto Rico	55	47	56	60	55	43	40
Irlanda	12	20	25	31	29	31	30
Argentina	2	7	15	23	18	16	12
Alemanha	6	7	17	45	56	38	41
Outros	161	163	242	226	150	134	136
Total	1.120	1.250	1.600	1.900	1.600	1.670	1.650

FONTE: ABIMCI e Banco de Dados da STCP citados por ZUGMAN (1998).



FIGURA 2. EVOLUÇÃO DAS EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS DE COMPENSADOS



FONTE: IBDF (1985); OLIVEIRA (1998); ABIMCI (1995); STCP (1995); ZUGMAN (1998)

O consumo de compensados produzidos no Brasil vem crescendo continuamente. Com base nos dados citados por ZUGMAN (1998), de 1991 à 1997, o mercado doméstico cresceu 33%, por outro lado as exportações cresceram 76%.

A ABIMCI (1995) previu para o período 1995-2000, um crescimento no segmento de 18%, onde a produção nacional deve atingir 2600 mil m<sup>3</sup>/ano, sendo 56% deste volume destinado ao mercado externo. Esta previsão, provavelmente, não vai ser concretizada, pois nos últimos três anos a produção está aquém da previsão, em cerca de 1650 mil m<sup>3</sup> anuais. A tendência é de não recuperar níveis de crescimento verificados no início da década de noventa.

Os principais países compradores do compensado brasileiro, historicamente, são Estados Unidos, Reino Unido, Porto Rico, Bélgica e Alemanha (OLIVEIRA, 1988; TOMASELLI, 1988; ZUGMAN, 1998). Exceção se faz, segundo OLIVEIRA (1988), ao mercado de construção civil, destinado a montagem de formas para concreto, que já tem participação significativa na pauta de exportação, porém, os principais mercados estão fora da América do Norte e da Europa Ocidental.

A distribuição do consumo nacional de compensado é mostrada na Tabela 6. No mercado interno, é o eixo São Paulo - Rio de Janeiro e Minas Gerais que continua sendo o maior centro consumidor, tanto para o compensado utilizado na indústria de móveis como para o compensado utilizado na construção civil. Isto sem esquecer os grandes fabricantes de móveis do sul do País, como centro consumidor de expressão (ABIMCI, 1995).

TABELA 6. DISTRIBUIÇÃO DA PRODUÇÃO NACIONAL DE COMPENSADOS

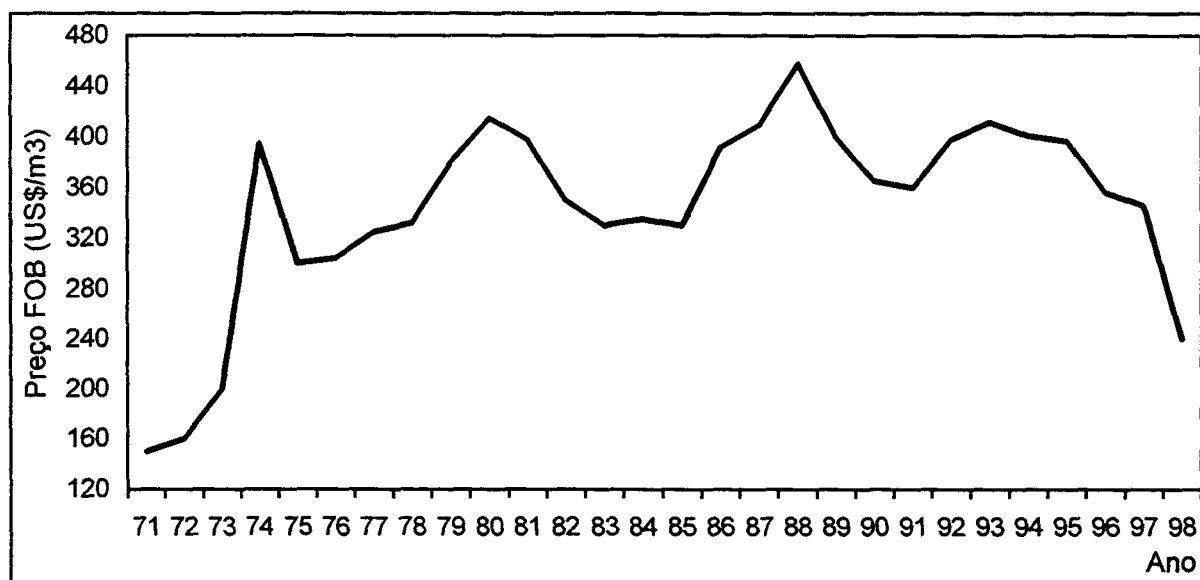
Destino do Produto	Produção ( $10^3 \text{ m}^3$ )		Porcentagem	
Ano	1994	1996	1994	1996
Móveis	40	60	2,13%	3,52%
Construção civil	300	280	16,05%	16,48%
Revenda	520	720	27,80%	42,35%
Embalagem	40	40	2,13%	2,35%
Exportações	970	600	51,8%	35,20%

FONTE: ABIMCI (1995 e 1998).

O setor da construção civil e revenda representam o principal destino do compensado brasileiro no mercado interno (ABIMCI, 1995; GONÇALVES, 1998).

Por volta do final da década de oitenta e início de noventa, as principais razões do crescimento das exportações estavam fundamentalmente relacionadas a queda interna e um relativo aumento nos preços internacionais de compensado (TOMASELLI, 1988). A partir de 1994, houve uma significativa expansão no mercado interno em detrimento das exportações devido o aumento de demanda gerado pela implantação do plano real, aliado a uma queda no preço internacional do compensado (Figura 3).

FIGURA 3. EVOLUÇÃO DO PREÇO MÉDIO DE COMPENSADO NO MERCADO INTERNACIONAL



FONTE: IBDF (1985); OLIVEIRA (1988); ABIMCI (1995); STCP (1995); TOMASELLI (1998a)

Em dólar corrente foi crescente o preço médio do compensado no período de 1971 à 1995, mas nos últimos dois anos (97/98), por exemplo, o preço do compensado tropical retraiu até 50% (INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION, 1999). Esta redução recente se deve a crise cambial na Ásia e diminuição da demanda por parte dos países exportadores.

#### 2.2.6 Perspectivas e desafios

O mundo está passando por uma fase de mudanças muito rápidas nos dias atuais. Segundo CAMPOS (1992), tais mudanças têm trazido ameaças à sobrevivência das empresas de forma generalizada, pelos mais variados motivos, como perda da atualidade do produto por lançamento de outro melhor e mais barato; concorrentes utilizando novos equipamentos que tornam os processos mais antigos menos eficazes para novo nível tecnológico e de qualidade no mercado; normas de países impondo exigências de produtos de melhor qualidade;

O setor florestal do Brasil tem-se ressentido da falta de uma política florestal e de diretrizes de longo prazo na área econômica. Existem restrições ao desenvolvimento da atividade florestal no País. Assim, as indústrias têm enfrentado problemas de logística, de competitividade no mercado, de política cambial, de custo de frete, de barreiras fiscais e técnicas e, ainda, de definição em seus investimentos futuros. Deste modo, também, não têm utilizado o potencial de recursos humanos disponível; muito embora a qualidade de mão-de-obra, em todos os níveis, tem sido uma das restrições do setor florestal. Neste contexto, em muitos postos de trabalho na indústria de compensado, o operador/trabalhador aprende por experiências do dia a dia (ABIMCI, 1995; TOMASELLI, 1988). Este último, menciona que o País não possui estrutura de treinamento eficiente para o setor florestal produtivo e carece de profissionais de nível técnico, médio e mesmo superior que atendam as necessidades das indústrias.

Ainda, segundo TOMASELLI (1988) a evolução da indústria nacional de máquinas e equipamentos florestais tem sido boa para algumas etapas do processo produtivo da indústria de compensado. Existem bons equipamentos para produção de lâminas, por outro lado, tem ocorrido deficiências na área de acabamento, que restringe a produtividade e a qualidade do produto brasileiro. A mecanização e a automação são insipientes. O grande avanço da informática e da eletrônica nos últimos tempos, aliados a abertura da economia

em nosso País, vem contribuindo para com o desenvolvimento e modernização do parque produtivo de compensado. Mas isto não é suficiente. Em função da descapitalização gerada por sucessivas crises econômicas no País, diversas vozes do setor têm-se pronunciado que falta capacidade de investimento por parte significativa dos empreendedores da indústria de compensado brasileira.

A ABIMCI (1995) fez uma estimativa que os investimentos fixos necessários para reabilitação da indústria de compensado na América Latina, no período de 1981-2000, está na ordem de 6 bilhões de dólares. Esta quantia representa  $\frac{1}{4}$  do produto florestal da América Latina que, segundo FAO (1993), foi de 23,7 bilhões de dólares em 1991. A Tabela 7 mostra uma avaliação sucinta sobre o nível industrial e tecnológico do segmento de compensado no Brasil. Alguns parâmetros como nível de produtividade, grau de automação, investimentos e controle de qualidade necessitam evoluir para ganhar em competitividade frente a concorrentes.

TABELA 7. AVALIAÇÃO INDUSTRIAL E TECNOLÓGICA DE COMPENSADO NO BRASIL

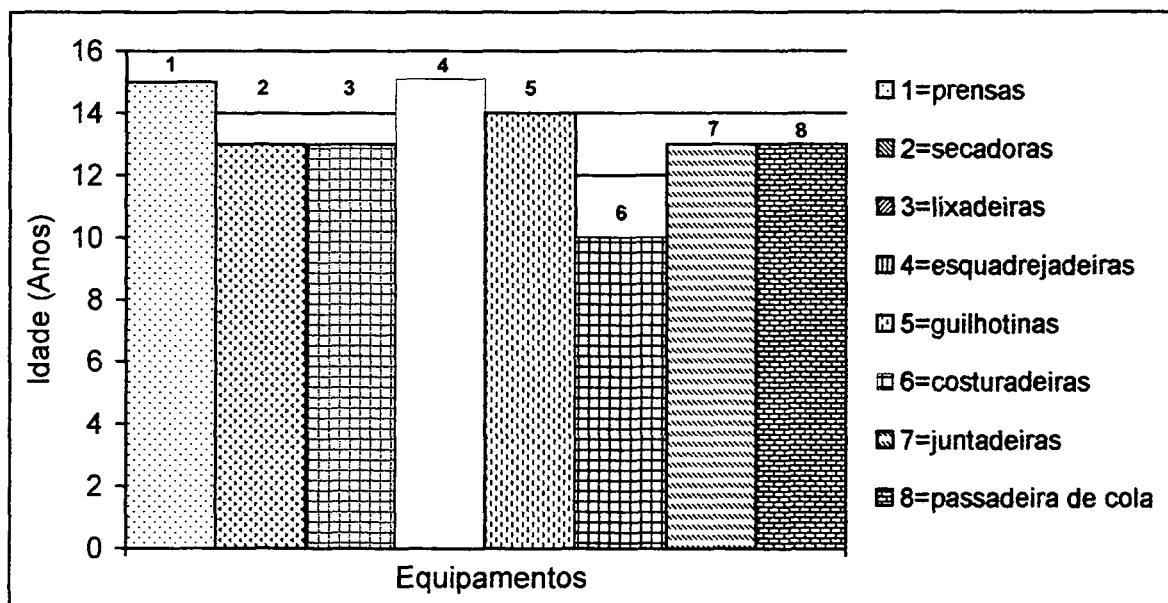
Nível de Produtividade:	Baixo
Grau de Automação:	Baixo
Grau de Modernização Industrial:	Em Atualização
Qualidade dos Produtos:	Média
Investimento com P&D:	Reduzidos
Número de Pesquisadores:	Poucos
Centro de P&D:	Carente
Importação de Tecnologia:	Dados Desconhecidos
Normas Técnicas Brasileiras:	Existentes e Satisfatórios
Controle de Qualidade:	Carente
Informação Tecnológica:	Carente de Divulgação e Utilização

FONTE: ABIMCI, 1995.

Considerando que o tempo médio de uso dos equipamentos está situado entre 10 e 15 anos (Figura 4), é provável que a tecnologia, hoje, adotada pela indústria de compensado no Brasil, esteja cerca de 10 anos atrás da dos E.U.A e Europa (Berger citado por

GONÇALVES, 1998). A perspectiva do segmento de compensado é de melhoria dos equipamentos no curto e médio prazo, visando atualização tecnológica.

FIGURA 4. TEMPO MÉDIO DE USO DE EQUIPAMENTOS NA INDÚSTRIA DE COMPENSADO



FONTE: BERGER, R. , 1991, citado por GONÇALVES, 1998.

Diante da realidade brasileira do segmento de compensado, dos outros produtores, do próprio mercado de produtos florestais e, ainda, de questões ambientais, a ABIMCI (1995) projetou as seguintes necessidades e tendências quanto ao segmento de compensado:

- Aumento substancial da demanda nacional e internacional por produtos de origem florestal em geral, com especial destaque para painéis de madeira;
- Crescente aumento, a nível internacional da importância da área de reflorestamento para a garantia da manutenção das atividades florestais produtivas;
- Aumento da conscientização, no Brasil, da importância da integração floresta – indústria - produtos;
- Crescente uso de madeira de reflorestamento de *Pinus*, principalmente, e em menor grau de eucaliptos;
- Fortalecimento das atividades ecológicas que serão irreversíveis;
- Os constantes avanços tecnológicos nos países desenvolvidos, que envolvem máquinas, processos e novos produtos, ampliam a competitividade das empresas potenciais concorrentes do Brasil no mercado internacional;

- Aceleração de desatualização tecnológica de parcela das fábricas de compensados no Brasil, principalmente as mais descapitalizadas e de menor porte;
- Como resultado da instabilidade econômica que o Brasil vivenciou nos últimos anos, e de seus efeitos no planejamento das empresas, particularmente afetadas nos fatores relativos a rentabilidade e novas tecnologias; elas apresentam defasagem crescente em relação aos países desenvolvidos e, em alguns setores, também em relação a determinados países do terceiro mundo;
- Embora o País tem no segmento de compensados uma significativa defasagem tecnológica, ele se firmou como tradicional e com potencialidades para o fornecimento deste produto para o mercado internacional;
- Aumento da demanda por madeiras tropicais e seus subprodutos, em paralelo com a redução geral da oferta;
- Tendência gradativa de aumento de preços dos painéis de madeira;
- Início da implantação, no Brasil, de novas linhas para a produção de compensado, que utilizarão equipamentos modernos e próprios para trabalhar com madeira de reflorestamento;
- Tendência significativa do crescimento da participação brasileira no mercado internacional de madeiras industrializadas;
- Uso decrescente de lâminas de madeira em razão do aumento dos custos pelo setor moveleiro;
- Uso decrescente de compensado em móveis seriados, em razão da evolução de projetos de móveis e equipamentos, seguindo a tendência mundial, resultando num aumento de sua substituição pelo aglomerado e MDF;
- Retomada do setor de construção civil, que irá demandar um volume bastante significativo de compensado no País.

## 2.3 ENERGIA NA INDÚSTRIA DE COMPENSADO

A palavra energia vulgarmente é empregada para exprimir força ou intensidade.

Do ponto de vista científico, a energia é a capacidade virtual que apresentam os sistemas materiais de produzirem trabalho mecânico; ao qual todas as formas de energia por definição correspondem. Ela se apresenta segundo formas ou modalidades diferentes,

possíveis de se transformar em outras formas. O calor, a luz, a eletricidade, a energia do movimento ou cinética, a energia do corpo suspenso ou potencial e outras, são formas diferentes de energia. Quando a corrente elétrica movimenta o motor se verifica que a energia elétrica da corrente se transformou em energia mecânica (ABBOTT e van NESS, 1992 e KEHR, 1993).

Um exemplo particular de uso e transformação de energia é verificado durante a combustão de resíduos da indústria florestal e lenha ocorrida nas cadeiras gerando o calor que, por conseguinte, vaporiza a água – obtenção de vapor. Este é um meio térmico necessário a diversas etapas do processo industrial nas indústrias de base florestal.

A indústria de compensado utiliza energia em formas distintas e nas várias etapas do processo produtivo. A energia demandada durante a colheita, manuseio da madeira e na manufatura do compensado, segundo KOCH (1976) e PINGREY (1976), compreende as seguintes fontes principais:

- energia térmica consumida especificamente na indústria, via processo de calor, através do consumo de vapor, representando a maior demanda;
- energia elétrica consumida na forma de energia mecânica gasta no acionamento de equipamentos elétricos e, ainda, na iluminação;
- energia química dos combustíveis como óleo diesel – o principal produto -, a gasolina e, no caso do Brasil, ainda o álcool anidro que são utilizados nos veículos destinados ao transporte de matéria-prima e outros materiais, que ocorrem desde a atividade de colheita da madeira, na movimentação no pátio da indústria e no carregamento do produto final.

A força muscular do homem, que é a fonte de energia utilizada mais antiga, exerceu destacado trabalho nas indústrias primitivas e continua presente na atual etapa da indústria (SEIXAS, 1991). Assim, a energia do esforço humano na indústria é outra forma de energia que é acrescida às outras formas energéticas demandadas na indústria de compensado: que emprega um relativo contingente de indivíduos.

Adicionalmente, de maneira indireta na indústria, há energia consumida na manufatura da resina e aditivos utilizados no processo de obtenção do compensado (PINGREY, 1976).

### 2.3.1 Energia Térmica

A energia térmica é utilizada como fonte de calor, na forma de vapor, no processo industrial do compensado.

O vapor, via de regra, é utilizado no cozimento das toras para facilitar a sua laminação, na secagem das lâminas que representa o setor de maior consumo e na prensagem das chapas montadas (PINGREY, 1976; COMSTOCK, 1975; KOCH, 1975).

A energia térmica na indústria de compensado, comumente, provém da queima direta dos resíduos do processo, complementados por lenha, utilizando equipamentos como as caldeiras (BALDWIN, 1984; FAO, 1991b; OLIVER, 1975).

As caldeiras de vapor são vasos de pressão que através do confinamento de um fluido (normalmente água) em um ambiente pressurizado, destinam-se a gerar uma energia térmica que normalmente é o vapor de água, saturado ou superaquecido, aproveitando a liberação de calor originado da queima de um combustível em ambiente adequado – a fornalha (TESCH, 1982; DINIZ, 1981; MITRE, 1982; TUSET e DURAN, 1979). As caldeiras são destinadas para converter a água em vapor saturado a certa pressão desejada (PINHÃO, 2000; TORREIRA, 1995; BAZZO, 1995; DINIZ, 1981; BROWN e BETHEL, 1965).

O vapor saturado é aquele cuja temperatura está apenas alguns graus acima de seu ponto de condensação e em uma determinada pressão. Já o vapor superaquecido é aquele que se encontra em uma temperatura bem superior ao seu ponto de condensação e na mesma pressão em que foi gerado. O grau de superaquecimento será a diferença entre a temperatura do vapor e a temperatura do seu ponto de condensação (PINHÃO, 2000; TORREIRA, 1995; BAZZO, 1995; TESCH, 1982; DINIZ, 1981; MITRE, 1982).

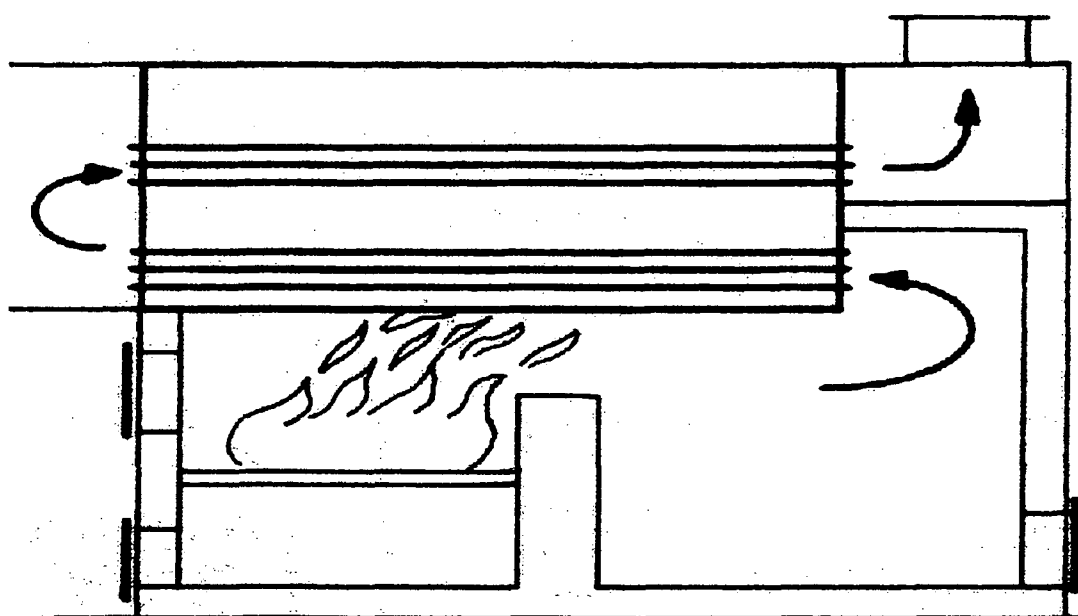
As caldeiras podem ser classificadas de acordo com a classe de pressão, grau de automatização, tipo de energia empregada e tipo de troca térmica (JUNGE, 1975; KARCHESY e KOCH, 1979; RECH, 1979). No entanto, a classificação mais usual se refere ao tipo de troca térmica, ou seja, caldeiras tipo flamotubulares ou fogotubulares e caldeiras tipo aquatubulares (TORREIRA, 1995; OLIVER, 1975; MITRE, 1982; CRUZ e NOGARA, 1997; TUSET e DURAN, 1979; BROWN e BETHEL, 1965).

Nas caldeiras flamotubulares ou fogotubulares (Figura 5), os gases quentes da combustão circulam por dentro de tubos, dispostos como uma serpentina, sendo que a água que será aquecida circunda os mesmos. Este foi um dos primeiros tipos de caldeira, muito utilizado em locomotivas e navios. É um sistema utilizado apenas em pequenas caldeiras para produzir vapor saturado; sua pressão normalmente varia de 5 a 10 kgf/cm<sup>2</sup>. Os seus



maiores inconvenientes são: devido ao contato direto do fogo e gases com a chaparia, tendo um acentuado desgaste das mesmas; não respondem às variações bruscas na demanda de vapor e baixo rendimento, principalmente se não for pré-aquecida a água de alimentação (TORREIRA, 1995; OLIVER, 1975; DINIZ, 1981, FAO, 1991). Neste tipo de caldeira, a fornalha é interna, fazendo parte da estrutura existente do gerador de vapor, e suas dimensões estão relativamente limitadas pela forma das partes sob pressão, motivo pelo qual o forno deverá possuir uma característica invariável para cada gerador de vapor (BROWN e BETHEL, 1965; DINIZ, 1981, FAO, 1991).

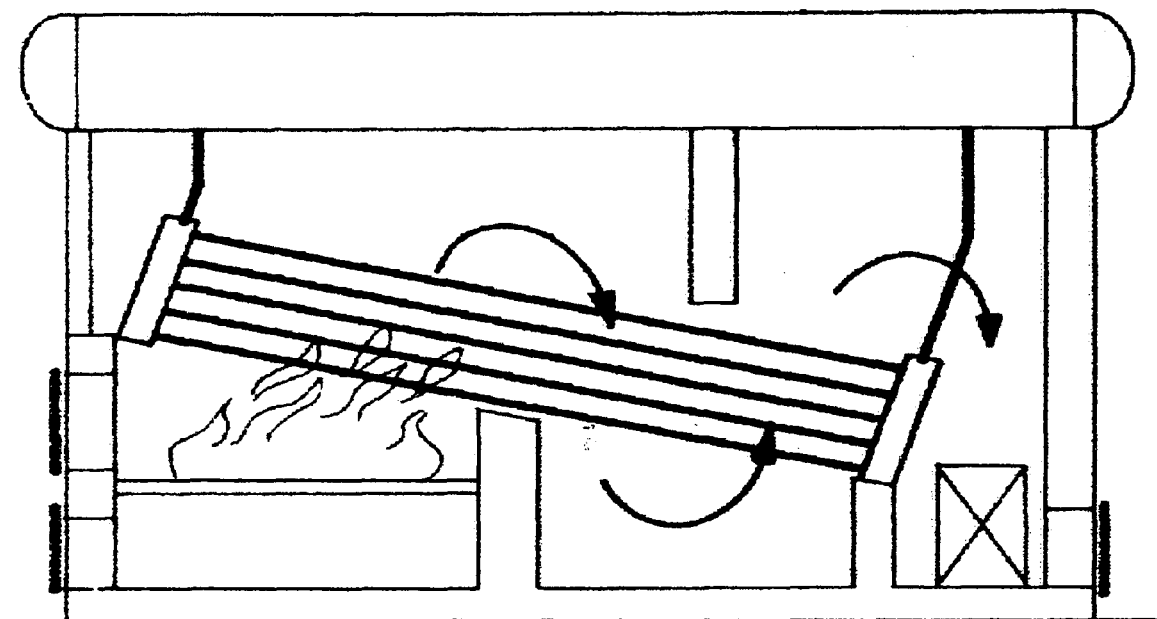
FIGURA 5. ILUSTRAÇÃO DE UMA CALDEIRA TIPO FLAMOTUBULAR



FONTE. DINIZ (1981)

Nas caldeiras aquatubulares (Figura 6) a água ao ser transformada em vapor, circula por dentro de tubos, os quais têm os gases da combustão ao seu redor, sendo que estes tubos são de pequeno diâmetro e em grande quantidade, localizados na câmara de combustão, que é a região onde é queimado o combustível (OLIVER, 1975; BROWN e BETHEL, 1965; CRUZ e NOGARA, 1997; DINIZ, 1981, MITRE, 1982). Nas caldeiras aquatubulares, ao contrário das flamotubulares, a fornalha e a câmara de combustão são independentes, formando o equipamento de combustão um conjunto adicionado ao gerador de vapor (BROWN e BETHEL, 1965; DINIZ, 1981, FAO, 1991).

FIGURA 6. ILUSTRAÇÃO DE UMA CALDEIRA AQUATUBULAR



FONTE. DINIZ (1981)

Entre os vários tipos de caldeiras aquotubulares em uso (DINIZ, 1981) destacam-se:

- Caldeira seccional que tem um desenho antigo que só se constrói atualmente em casos secundários, porém encontramos em grande quantidade nos processos industriais existentes.
- Caldeira de tubos curvados, de dois domos e as vezes até três, que é atualmente o tipo mais utilizado. Este tipo é empregado em instalações de grande porte, para obtenção de vapor superaquecido a altas pressões.

As caldeiras são compostas, basicamente, de duas partes: a fornalha e o gerador de vapor. A fornalha ou câmara de combustão é o local onde se processa a queima do combustível visando produzir calor, podendo, comumente, ser apresentada em leito fixo ou em suspensão. Já o gerador de vapor corresponde aos tanques com água ou cano, representando o espaço onde ocorre a vaporização da água (BAZZO, 1995; KARCHESY e KOCH, 1979; DINIZ, 1981).

A fonte primária e original de energia térmica na indústria de compensado são os resíduos do processo produtivo, complementados por lenha. Os resíduos são: a casca, o miolo de toras laminadas, os descartes de lâminas, as aparas em geral e a serragem.

Os subprodutos ou resíduos têm sido usados como combustíveis para produzir vapor, que é uma força popular na indústria madeireira, já que proporcionam energia barata

e é um meio de uso adequado do desperdício oriundo do processamento da madeira (BROWN e BETHEL, 1965, MUENCH, 1975).

Todos os resíduos de uma fábrica de compensado, depois de esgotadas as possibilidades de uso e melhoria dos processos que visem aumentar o rendimento da madeira, devem ser convertidos em energia térmica com o objetivo de ser utilizada na geração de calor e/ ou vapor para cozimento da madeira, secagem de madeira e de lâminas e prensagem das chapas; e adicionalmente, para geração de energia mecânica ou elétrica (MUENCH, 1975, OLIVER, 1975, TILLMAN, 1982).

Autores como SHADE (1976), MUENCH (1975), ELLIS (1982), FUNG (1982), PRESTON (1982), FAZZIO (1980), AROLA (1976) e KNAPP (1976) destacam o setor de base florestal como privilegiado, pois tem excelente oportunidade de independência no suprimento de energia térmica, ao utilizar resíduos do processo industrial e a lenha como combustível e com custo competitivo, aliado ao fato de ser fonte renovável de energia.

A influência da umidade da lenha e dos resíduos da indústria no poder calorífico e na eficiência da caldeira é mostrado na Tabela 8 (HAGEN e BERG, 1976; MITRE, 1982; HIRATA, 1982, OLIVER, 1975).

TABELA 8. INFLUÊNCIA DO CONTEÚDO DE UMIDADE DA BIOMASSA NO PODER CALORÍFICO SUPERIOR E NA EFICIÊNCIA DA CALDEIRA

HAGEN e BERG (1976)		MITRE (1982)		
Umidade (%)	Poder Calorífico Superior (kcal/kg)	Umidade (%)	Poder Calorífico Superior (kcal/kg)	Eficiência da Caldeira (%)
0	4909			
10	4452	15	4130	77
24	3450			
36	3176	30	3400	73
45	2689	40	2920	70
50	2557	50	2430	65
56	2026	60	1940	58

O consumo específico de energia térmica na indústria de base florestal é bastante variável (Tabelas 9, 10 e 11). . Isto se deve, segundo a FAO (1991), a diversos fatores, como

a capacidade instalada da indústria; índice de industrialização; processos distintos; equipamentos e procedimentos industriais adequados; atividade integrada ou não; grau de automação industrial ou não; características das espécies e suas dimensões e teores de umidade; nível de acabamento do produto; sistema de secagem utilizado; condições climáticas regionais; e alcance das medidas de conservação adotadas.

A demanda de energia térmica relacionada com a produção unitária na indústria de compensado é pouco citada na literatura e os dados são muitos dispersos. Os dados apresentados por KOCH (1976) e PINGREY (1976) mostram que o consumo de energia térmica por unidade de compensado tem uma variação significativa entre utilizar matéria-prima de coníferas ou de folhosas (Tabela 9).

TABELA 9. CONSUMO GLOBAL DE ENERGIA TÉRMICA REQUERIDA NA MANUFATURA DE PRODUTOS FLORESTAIS

Produtos	Demanda de Vapor (Kg/tonelada seca)	Calor (Mcal/tonelada seca)
Madeira serrada de conífera seca	1809,4	1025,8
Viga laminada	2678,0	1627,7
Assoalho de carvalho	2591,8	1224,5
<u>Compensado de conífera<sup>1</sup></u>	2797,3 (1295Kg/m <sup>3</sup> )	1699,2 (810Mcal/m <sup>3</sup> )
<u>Compensado de folhosa<sup>2</sup></u>	3779,8 (2250Kg/m <sup>3</sup> )	2525,8 (1578Mcal/m <sup>3</sup> )
Chapa de partículas	883,6	1414,2
Chapa estrutural (flake)	2306,1	1751,5
Chapa de fibra isolante	1730,0	1419,5
Chapa dura	3035,9	2461,4
Chapa de fibra de média densidade (MDF)	1991,7	1403,4

<sup>1</sup> densidade do compensado de 462Kg/m<sup>3</sup> e <sup>2</sup> densidade do compensado de 594Kg/m<sup>3</sup>.

FONTE: KOCH (1976) e PINGREY (1976)

O requerimento médio de energia térmica na indústria de compensado é em torno de 1100 Mcal/m<sup>3</sup> (FUNG, 1982, EKONO YO, 1980 e FAO, 1991). Contudo, observa-se que este valor médio está sujeito a uma dispersão de dados muito grande. Pode representar um

consumo mínimo de 300 a 800Mcal/m<sup>3</sup> (COMSTOCK, 1975), ou o valor máximo de cerca de 2200Mcal/m<sup>3</sup> conforme listado por PINGREY (1976).

TABELA 10. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA INDÚSTRIA FLORESTAL DE TRANSFORMAÇÃO MECÂNICA E O CONSUMO DE ENERGIA TÉRMICA

Indústria	Produção (m <sup>3</sup> /ano)	Consumo de energia térmica				
		(Kw)	(Mcal/ano)	(Kwh/m <sup>3</sup> )	(Mcal/m <sup>3</sup> )	% do total
Serraria	20250	1305	7296	420	361	87,7
De compensado	8100	2400	8952	1280	1101	84,2
De chapa de fibra	5400t/a	2340	13080	2810	2417	82,4
De chapa partículas	10125	1560	8748	1000	860	75,2
Integrada no. 1 <sup>1)</sup>	48600 <sup>4)</sup>	6220	30480	722	621	84,5
Integrada no. 2 <sup>2)</sup>	48600 <sup>4)</sup>	6920	35040	836	719	85,0
Integrada no. 3 <sup>3)</sup>	22950 <sup>4)</sup>	5800	23712	1196	1029	81,6

<sup>1)</sup> Serraria integrada com fábrica de compensado e chapa de partículas, <sup>2)</sup> Fábrica de serrado, compensado e chapa de partículas integrada com manufatura de peças para residência, <sup>3)</sup> Fábrica de compensado, lâminas integrada com chapa de partículas, <sup>4)</sup> Soma dos volumes dos distintos produtos

FONTE: EKONO YO (1980) e FAO (1991)

TABELA 11. CONSUMO DE ENERGIA TÉRMICA NA SECAGEM DE MADEIRA SERRADA, LÂMINAS E PARTÍCULAS

Produto	Umidade inicial (%)	Umidade final (%)	Uso de energia (Kcal/Kg de água)	Consumo de energia (Mcal/m <sup>3</sup> )
Madeira serrada	45-100	6-15	893-1675	342-1582
Lâminas	45-100	5	893-1675	285-798
Chapa de partículas	25-100	5	893-1675	313-2037

FONTE: COMSTOCK (1975)

Este comportamento onde se observa uma variação ampla no consumo específico de energia térmica por unidade de compensado produzida é compreensível. Tem influência da espécie, efeitos de operação e natureza dos equipamentos, da espessura e do teor de umidade inicial das lâminas, da espessura final do compensado e, ainda, se a indústria é um

processo integrado ou não. Para as indústrias não integradas o consumo é superior (PINGREY, 1976; KOCH, 1976 e COMSTOCK, 1975).

A etapa ou setor da industrialização do compensado que demanda mais energia é a secagem de lâminas, que representa cerca de 60-70 % do total de energia requerida na fábrica (COMSTOCK, 1975; ELLIS, 1982; B. H. LEVELTON & ASSOCIATES, 1978). Mas a participação da demanda de energia por parte do setor de secagem pode ser maior, com cerca de 81 do total de energia térmica (Tabela 12).

TABELA 12. CONSUMO DE ENERGIA TÉRMICA EM INDÚSTRIA INTEGRADA DE COMPENSADO<sup>1</sup>

Etapa	Kg vapor/m <sup>3</sup>	Mcal/ton seca	Mcal/m <sup>3</sup>	%
Secagem de lâminas	555 – 1090	957	465	81,22
Prensagem de compensado	78 – 130	128	62	10,89
Outros	-	93	45	7,89
Soma	-	1178	572	100,00

<sup>1</sup> Compensado com densidade igual a 486Kg/m<sup>3</sup>

FONTE: OLIVER (1975)

Um exemplo específico de consumo de energia na secagem de lâminas é demonstrado por B. H. LEVELTON & ASSOCIATES (1978). Assumindo que lâminas de 1/8 de polegada em espessura, densidade seca de 401Kg/m<sup>3</sup> e sendo seca partindo de um conteúdo de umidade de 70% para 15% (base seca), a quantidade de água removida por ciclo foi de 275Kg, com o provável *input* de calor para esta secagem de cerca de 2,4Kcal/hora ou o equivalente a 820Kcal/m<sup>2</sup> de chapa.

Segundo Zerbe do U.S. Forest Product Laboratory de Madison, citado por B. H. LEVELTON & ASSOCIATES (1978), o requerimento total médio de energia para os vários setores da indústria de compensado é de 2223Mcal/ tonelada de produto.

É verificado que o maior consumo de energia para a indústria de compensado é protagonizado pela energia térmica, mas em contra partida, a principal parcela da fonte primária para esta modalidade de energia se dá pelo uso dos resíduos do processo (EKONOYO, 1980, FAO, 1991, ELLIS, 1982, OLIVER, 1975, PINGREY, 1976, KOCH, 1976).

A demanda de energia térmica na indústria de compensado representa entre 76% (ELLIS, 1982, KOCH, 1976 e PINGREY, 1976) e pode chegar a 84% do total de energia consumida (EKONO YO, 1980, FAO, 1991).

Relatando a produção, perdas e o consumo de energia térmica na indústria de compensado, OLIVER (1975) menciona que do total da energia que entra na fábrica de compensado, cerca de 88,3% corresponde a energia térmica, mas no seu uso final ela representa de 47,2% do total. Este autor, com certeza, está levando em consideração as perdas ocorridas na conversão de energia bruta (madeira) para vapor. A explicação destes valores mostra que de cada unidade de energia térmica que entra na caldeira, 55% representa energia efetivamente usada no processo industrial, enquanto o restante 45% representa as perdas do processo de conversão térmica.

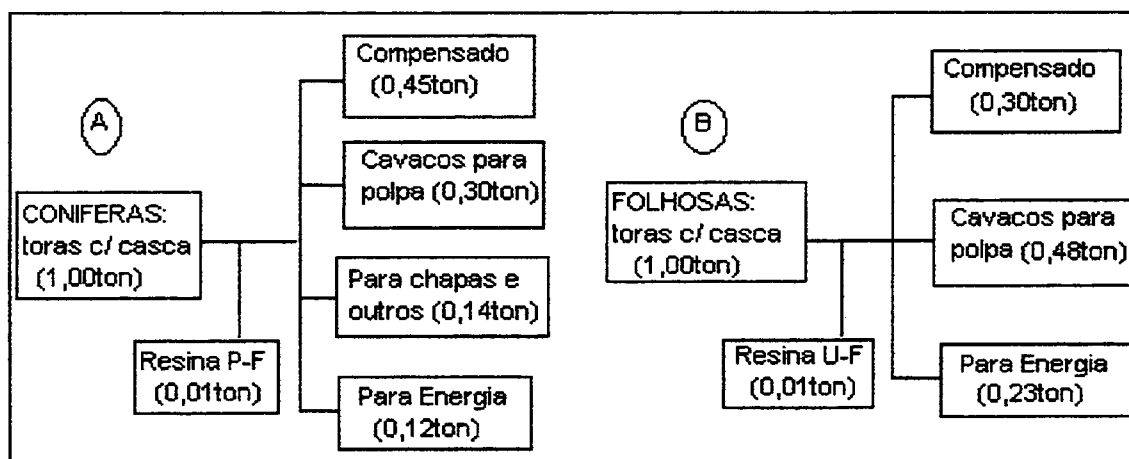
Para B.H. LEVELTON & ASSOCIATES (1978), os resíduos oriundos do processo produtivo respondem por cerca de 73% do total de energia da indústria de compensado, o que significa a quase totalidade da energia térmica demandada.

De maneira similar, OLIVER (1975) cita que nos Estados Unidos a energia térmica representa 76% do total utilizada na indústria de compensado, mas que os resíduos nela gerados podem responder por cerca de 74% da demanda geral. Verifica-se que a demanda de energia térmica pode ser coberta pelo uso dos resíduos do processo industrial, incluindo a produção de casca. Por sua vez ELLIS (1982) menciona que os resíduos podem representar cerca de 78,1% do total de energia demandada na industrialização do compensado.

KOCH (1976) realizou um trabalho onde analisou o balanço de material e o consumo de energia na fabricação de dez ditas *commodities* de madeira. Para o seguimento industrial do compensado, tal autor verificou que os resíduos gerados no processo podem representar de 49 a 94% do total da energia demandada. Mas PINGREY (1976), EKONO YO (1980) e FAO (1991) relatam que a quantidade de resíduos gerados para fins energéticos na indústria de compensado, apresenta bastante variação em função do maior ou menor grau de aproveitamento da madeira para a fabricação de outros produtos.

Neste contexto, KOCH, (1976), ao comparar a quantia de resíduos produzidos na fabricação de compensado de coníferas e folhosas nos Estados Unidos (Figura 7), observou que a madeira de folhosas pode gerar até duas vezes mais resíduos para fins energéticos que coníferas. Na conversão da madeira de coníferas, prioriza-se a utilização de subprodutos para produção de cavacos e partículas para uso na fabricação de polpa e painéis reconstituídos de madeira.

FIGURA 7. BALANÇO DE MATÉRIA-PRIMA MOSTRANDO A VARIAÇÃO ENTRE RESÍDUOS DE CONÍFERAS (A) E FOLHOSAS (B)



FONTE: Adaptado de KOCH (1976)

Fortalecendo a idéia de auto-suficiência térmica que os resíduos potencialmente podem representar, AROLA (1976) menciona que em alguns seguimentos das indústrias florestais como serrarias e indústrias de compensado, é sempre possível gerar toda a energia térmica em função da queima direta em caldeiras dos vários tipos de resíduos gerados desde o descascamento das toras até o produto final acabado. Este autor destaca que a geração de energia térmica na indústria florestal é suficientemente bem desenvolvida e contribui para eliminar o uso dos combustíveis fósseis no processo industrial do setor.

Os combustíveis fósseis, em geral, têm um vínculo muito forte com problemas ligados as questões ambientais relacionadas a grande geração de dióxido de carbono para atmosfera. O dióxido de carbono proveniente da queima de combustíveis fósseis é inserido na atmosfera como um componente extra, causando maior impacto ambiental do que a combustão da madeira. Esta combustão também gera o dióxido de carbono, mas, ao contrário, o absorve durante a produção da biomassa ocorrido no período do crescimento da árvore.

Deste modo, o uso intensivo dos resíduos do processamento industrial da madeira para fins de auto-produção de energia no setor florestal, como é sua característica, indica um atenuante dos impactos ambientais possíveis de ocorrerem nas indústrias.



### 2.3.2 Energia Elétrica

A energia elétrica é utilizada nos vários setores da industrialização do compensado. PINGREY (1976) cita que a energia elétrica é consumida na forma de energia mecânica gasta no acionamento de equipamentos elétricos e, ainda, na iluminação da indústria.

A energia elétrica demandada na indústria de base florestal pode ser provida de duas distintas maneiras: aquisição direta de empresas produtoras de energia, como as concessionárias do setor elétrico ou através de produção própria. A primeira tem sido preferida nas regiões onde há fornecimento em tempo integral. Já a segunda maneira é uma saída para indústrias instaladas em regiões que apresentam problemas de fornecimento elétrico em rede, como é o caso de certas localidades mais distantes e isoladas. Neste caso, tem-se, como exemplo, determinados pontos da Amazônia, em que o industrial produz a energia elétrica para atender sua própria demanda.

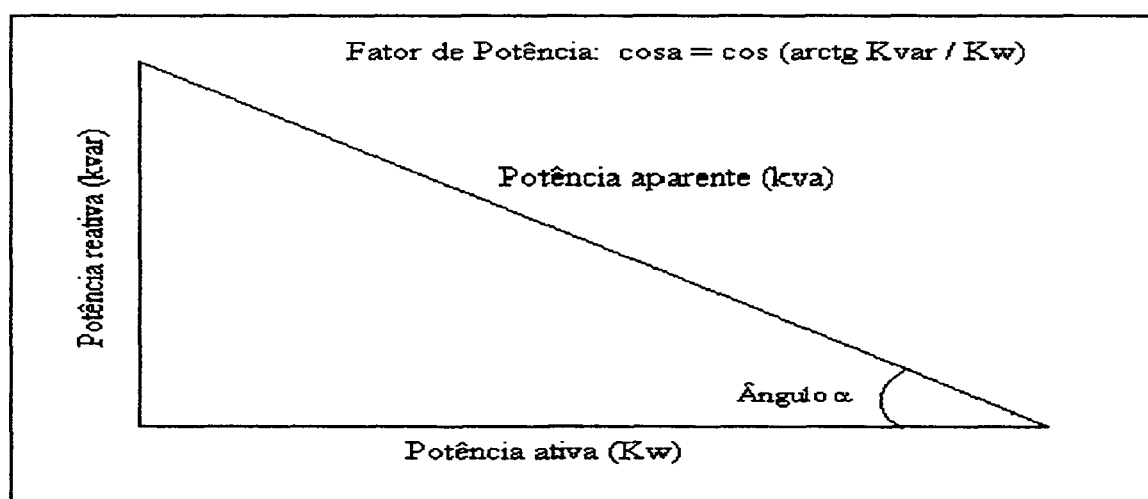
Mas o processo de reestruturação e desregulamentação do setor elétrico, desencadeado nos últimos anos, induz a novos caminhos para a produção de energia elétrica. TAUTZ (1998) e KNOEDT (1998) destacam que a implantação dos programas Mercado Atacadista de Energia e do Operador Nacional do Sistema pela Agência Nacional de Energia Elétrica, vai incentivar a produção intensa e independente de energia por parte de entidades, que no seu processo industrial geram subprodutos com capacidade de serem empregados na produção de energia. Acredita-se que um número significativo de indústrias podem partir para o sistema de auto-geração de energia elétrica via o processo de cogeração.

A potência elétrica instalada numa indústria representa o somatório do conjunto dos equipamentos acionados por motores elétricos. Desta forma, depende da capacidade dos equipamentos, tipos de produtos finais, produção e outros fatores. Com base nos requisitos mínimos e máximos para cada máquina normalmente usadas nas indústrias, especialmente de transformação mecânica como serrarias, indústrias de compensado, a potência deve se situar ente 505 à 2605 cavalos vapor - CV ( EKONO YO, 1980; BROWN e BETHEL, 1965 e CONSERWATT ENGENHARIA, 1996).

Evidentemente que o consumo de energia elétrica está diretamente ligado a intensidade com que a fábrica aciona seus equipamentos. Contudo, há que se distinguir algumas particularidades do consumo de energia elétrica na indústria.

A maioria das cargas das unidades industriais utiliza energia indutiva, como motores, transformadores, lâmpadas de descarga, fornos de indução dentre outros. As cargas indutivas precisam de campo elétrico para o seu funcionamento, por isso sua operação necessita dois tipos de potências: a ativa e a reativa (COPEL, s.d.; COTRIM e BITTENCOURT, 1982; HELVOGT, 1975). A potência ativa, medida em kW, é aquela que efetivamente realiza trabalho gerando calor, luz e movimento. Por sua vez, a energia reativa, medida em kvar, destina-se apenas para criar e manter os campos eletromagnéticos das cargas indutivas. Assim, enquanto a potência ativa é sempre consumida na execução de trabalho, a potência reativa, além de não produzir trabalho, circula entre a carga e a fonte de alimentação, ocupando “espaço” no sistema elétrico que poderia ser utilizado para fornecer mais energia ativa. A potência ativa e a potência reativa, juntas, constituem a potência aparente, medida em Kva, que é a potência total gerada e transmitida à carga, conforme se verifica na Figura 8.

FIGURA 8. RELAÇÃO ENTRE POTÊNCIA ATIVA, REATIVA E APARENTE



FONTE: COPEL, ( 1987), COMITÊ DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (s.d.)

O fator de potência indica qual porcentagem da potência fornecida (kVA) é efetivamente utilizada como potência ativa (kW). Assim, o fator de potência mostra o grau de eficiência do uso dos sistemas elétricos. Valores altos de fator de potência indicam uso eficiente da energia elétrica, enquanto valores baixos evidenciam seu mau aproveitamento, além de representar uma sobrecarga para todo o sistema elétrico (SEIP, 1984, STOUT, 1974, COTRIM e BITTENCOURT, 1982, KEHR, 1993, COPEL, s.d.).

A Equação seguinte expressa, matematicamente, o fator de potência(FP):

$$FP = \text{POTÊNCIA ATIVA (KW)} / \text{POTÊNCIA APARENTE (KVA)}$$

O DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – o DNAEE – estabeleceu que o fator de potência deve se situar no limite acima de 0,92 (anteriormente o limite mínimo era de 0,85) e faturar a energia reativa capacitiva excedente. Tal entidade tem, com isto, adotado mecanismo visando estimular o consumidor a melhorar o fator de potência de suas instalações elétricas. Em consonância com este preceito, o Decreto nº 479, de 20 de março de 1992, determina que o fator de potência das instalações elétricas deve ser mantido sempre o mais próximo possível de um (1,0) e a Portaria DNAEE nº 1569, de 23 de dezembro de 1993, estabelece um nível máximo para utilização de reativo indutivo ou capacitivo, em função da energia ativa consumida (kWh). Assim, para cada kWh de energia ativa consumida, a concessionária permite a utilização de no máximo 0,425kvarh de energia reativa, sem acréscimo de custo.

Por convenção internacional, a unidade física de potência é o *Watt*, abreviada pela letra *W*. Mas existem ainda restritas áreas onde ficaram consagradas outras unidades de potência como no caso de eletromotores, cujas potências são indicadas freqüentemente em cavalos-vapor (CV) ou em *Horse-power* (HP) (KEHR, 1993).

Existem sugestões de diferentes fatores de conversão do consumo de eletricidade para energia calorífica, ou seja de Kwh para Kcal. Com base em BRASIL/MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA (1997), considera-se a eletricidade com poder calorífico igual a 3.132Kcal/Kwh, valor correspondente à produção bruta de energia medido nas centrais hidráulicas para efeito do Balanço Energético Nacional, pois, adota-se um consumo específico de 300g de óleo combustível para gerar 1Kwh; assim não é considerada a parcela correspondente a energia vertida. Para DNAEE (1989), OKONO YO (1980), KEHR (1993) e LEONITSIS (s. d.), a eletricidade é considerada com valor calorífico de cerca de 860Kcal/Kwh, que é o valor usado na identificação da energia útil ou final. Portanto, este valor representa o mais usual e prático para a conversão da energia elétrica em calorífica, quando consumida numa situação de processo industrial.

Um importante aspecto na utilização da energia elétrica para fins industriais é conhecer o sistema de tarifação utilizado pela concessionária de energia.

A empresa CONSERWATT ENGENHARIA (1996); COPEL (1987) e ANEEL (2000) expõem os seguintes sistemas de tarifação de energia elétrica:

a) Sistema convencional: o consumidor é tarifado de acordo com a tensão com que é medido, ou seja, em alta ou em baixa tensão. Nas empresas atendidas por alta tensão o sistema tarifário é binômio; e para as atendidas em baixa tensão, aplica-se o sistema tarifário monômio. Para a indústria atendida em alta tensão, a tarifa se dá no sistema binômio, onde cobra-se a demanda de potência (em R\$/Kw) e o consumo de energia (em R\$/Kwh). Já o sistema monômio é aplicado para consumidor que utiliza a medição em baixa tensão, incidindo a tarifa apenas pelo consumo (R\$/Kwh). Além dos fatores mencionados, incidem ainda sobre o importe de energia a taxa de imposto sobre circulação de mercadorias e serviços - ICMS, imposto estadual calculado na fatura e o ajuste por baixo fator de potência (quando inferior a 92%).

b) Sistemas horo - sazonal: este possui duas modalidades de tarifas: a azul e a verde. A tarifa azul é a modalidade tarifária estruturada em preços diferenciados de demanda de potência (Kw) e consumo de energia elétrica (Kwh) ao longo dos segmentos de Ponta e Fora de Ponta, bem como dos períodos secos do ano (maio à novembro) e úmido (dezembro à abril), no caso de consumo de energia elétrica. Já a tarifa verde é outra modalidade tarifária estruturada em um único preço de demanda de potência para os segmentos de Ponta e Fora de Ponta e de preços diferenciados para o consumo de energia elétrica ao longo desses segmentos. Da mesma forma, para o consumo de energia elétrica existem também preços diferenciados ao longo dos períodos seco e úmido do ano.

Esta prática de tarifação diferenciada em função da potência instalada e da demanda de energia elétrica é praticada em outros países. HELVOGT (1975) menciona que nos Estados Unidos a energia elétrica é medida mês a mês (assim como no Brasil), sendo a tarifa incidida sobre as demandas ativa e reativa. Há penalização tarifária quando apresenta uso em excesso de energia reativa, ocasionada por baixo fator de potência.

Os estudos do consumo de energia e seus custos na área florestal brasileira e especificamente na indústria florestal são poucos, sendo raros no momento em que a questão energética é um fator de real destaque, motivam trabalhos mais aprofundados e com continuidade nesta área.

A demanda de energia elétrica tem sido citada na literatura sobre a industrialização do compensado sem maior importância, e muitas vezes inserida no item insumo.

Em se tratando da relação quantidade de energia elétrica consumida em função da produção na indústria, os dados disponíveis são poucos e nem sempre são elucidativos (FONTES, 1994). Em FAO (1993a,b), verifica-se que diversos fatores podem influir

sensivelmente no consumo energético de cada tipo de madeira utilizada e o produto final obtido. Em contrapartida, os dados existentes servem como indicativo de consumo de energia elétrica na indústria, conforme mostram as Tabelas 13 e 14.

TABELA 13. CONSUMO GLOBAL DE ENERGIA ELÉTRICA NA MANUFATURA DE PRODUTOS FLORESTAIS

Produtos	Elétrica (Kwh/tonelada seca)	Equivalente em Calor (Mcal/tonelada seca)
Madeira serrada de conífera	231,18	198,61
Viga laminada	42,35	36,40
Assoalho de carvalho	248,23	213,22
Compensado de conífera <sup>1</sup>	42,65 (20/m <sup>3</sup> )	36,63
Compensado de folhosa <sup>2</sup>	71,76 (43/m <sup>3</sup> )	61,64
Chapa de partículas	736,18	632,33
Chapa estrutural (flake)	170,00	146,02
Chapa de fibra isolante	1447,06	1242,94
Chapa dura	3917,35	2505,84
Chapa de fibra de média densidade (MDF)	1102,35	946,86

<sup>1</sup> densidade do compensado de 462Kg/m<sup>3</sup> <sup>2</sup> densidade do compensado de 594Kg/m<sup>3</sup>.

FONTE: KOCH (1976) e PINGREY (1976)

Na Tabela 13, verifica-se que o consumo de energia elétrica, na fabricação de compensado, é diferenciado quando se utiliza matéria-prima de folhosa e coníferas. Para a produção, considerando massa seca de compensado, o consumo de energia elétrica foi menor quando a matéria-prima utilizada foi a de conífera. Contudo, os autores não mencionam o motivo, mas depende, também, do tipo de indústria. Para indústria integrada, o consumo por unidade produzida de compensado apresentou variação (Tabela 14). Nesta Tabela, ainda, merece destacar que o consumo de energia elétrica nas indústrias de painéis de madeira, situa-se entre 15 a 25% do total de energia demandada.

TABELA 14. CARACTERÍSTICAS DA INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO MECÂNICA E CONSUMO DE ENERGIA DE ELÉTRICA

Indústria	Produção Potência		Consumo de energia elétrica				
	(m <sup>3</sup> /ano)	(Kw)	(Kw)	(Mwh/ano)	(Kwh/m <sup>3</sup> )	(Mcal/m <sup>3</sup> )	% do total
Serraria	20250	360	250	810	20-40	17-34	12,3
De compensado	8100	665	450	1940	240	206	15,8
De chapa de fibra	5400t/a	850	500	3240	600	516	17,6
De ch. Partículas	10125	910	480	3105	335	288	24,8
Integrada no. 1 <sup>1)</sup>	48600 <sup>4)</sup>	2295	1300	6395	132	113	15,5
Integrada no. 2 <sup>2)</sup>	48600 <sup>4)</sup>	2570	1540	7135	147	126	15,0
Integrada no. 3 <sup>3)</sup>	22950 <sup>4)</sup>	1695	1080	5495	263	226	18,4

<sup>1)</sup> Serraria integrada com fábrica de compensado e chapa de partículas, <sup>2)</sup> Fábrica de serrado, compensado e chapa de partículas integrada com manufatura de peças para residência, <sup>3)</sup> Fábrica de compensado, lâminas integrada com chapa de partículas, <sup>4)</sup> Soma dos volumes dos distintos produtos

FONTE: EKONO YO (1980) e FAO (1991).

Um índice de participação menor da energia elétrica na indústria do setor florestal é o mencionado por JUNGE (1975) entre 10-12%. Mas há que destacar-se que este índice é apenas relacionado com a energia térmica produzida em caldeira e a energia elétrica.

Para um consumo geral de energia elétrica na indústria de compensado FAO-Portffolio citado por EKONO YO (1980) cita que para uma produção diária de 30m<sup>3</sup>/dia, tem-se um consumo médio de 240Kwh/m<sup>3</sup>. Quando comparado com o consumo em serraria, o consumo de compensado significa, em média, seis vezes maior, uma vez que num estudo realizado em indústrias do tipo serraria no Canadá, B. H. LEVELTON & ASSOCIATION (1982) avaliaram que as necessidades de consumo de energia elétrica, fica na faixa de 20 a 90 Kwh/m<sup>3</sup>.

### 2.3.3 Energia Química

A energia química, para efeito deste trabalho, limita-se à da força motriz móvel e destina-se ao transporte de matéria prima, de produtos florestais e movimentação de materiais na indústria.

Na indústria de compensado no Brasil, a energia química é representada pelos seguintes combustíveis: o óleo diesel – o principal -, seguido da gasolina, o gás liquefeito de petróleo e o álcool. Por sua vez, na indústria dos Estados Unidos (KOCH, 1976) cita como os principais combustíveis químicos na indústria florestal o óleo diesel e a gasolina, destinados às atividades de extração florestal e transporte em geral.

Estes combustíveis são utilizados em veículos com motores de combustão interna (FERREIRA, s.d. e LEONTSINIS, s.d., TORREIRA, 1995), utilizando-se do processo de combustão que representa o meio para obter calor e, conseqüentemente, energia motriz necessária aos veículos de transporte (BARGER et al., 1966).

As propriedades que interessam para a utilização do combustível são a composição química, o poder calorífico, a sua decomposição pelo calor, temperatura e velocidade de inflamação, a temperatura teórica de combustão, a quantidade de gases produzidos e quantidade de ar necessário para queimá-lo (TORREIRO, 1995; BARGER et al., 1966).

O óleo diesel é uma fração intermediária da destilação do petróleo entre o querosene e os óleos lubrificantes. O óleo diesel é usado como combustível em motores de combustão interna em que a ignição se faz por compressão, não havendo necessidade de uma centelha. As aplicações deste óleo são variadas, destacando-se caminhões, ônibus, tratores e outros equipamentos agrícolas, equipamento pesado para construção, navios, locomotivas, centrais elétricas e equipamentos industriais (BARGER et al., 1966; LEONTSINIS, s.d.).

A gasolina automotiva é uma mistura complexa de hidrocarbonetos variando de quatro a doze átomos de carbono. Sob o ponto de vista de aplicação, pode-se definir a gasolina como um combustível apropriado para utilização em motores de combustão interna que possuem ignição por centelha, sendo o seu maior emprego em carros de passageiros e veículos utilitários, entretanto é muito usada em equipamentos agrícolas, motores marítimos de dois e quatro tempos, motores a explosão fixos terrestre (BARGER et al., 1966; FERREIRA, s.d.; LEONTSINIS, s. d.).

O gás liquefeito de petróleo, GLP, consiste dos hidrocarbonetos propano ou butano, ou ambos, em proporções variadas e pequenas quantidades de outros hidrocarbonetos (BARGER et al., 1966). O GLP como combustível apresenta grandes vantagens sobre os de natureza sólida e líquida, dado o seu alto poder calorífico na ordem de 11000 Kcal/Kg e muito menor risco de toxidez. A utilização do GLP no Brasil ainda é restrita na utilização doméstica. Quando empregado como combustível para motores, as seguintes características contribuem para prolongar a vida e aumentar a eficiência do motor, reduzir manutenção e

gastos com óleos lubrificantes e com substituição de velas: a queima limpa; alto índice de octano; redução na produção de fumaça nos gases de exaustão; eliminação da diluição do óleo do “cárter”; e mistura ar - combustível mais perfeita (LAGE e CAMPOS, s. d).

O álcool é uma das alternativas resultantes da crise energética de 1973, devido à política de comercialização mundial de petróleo, bastante investigada e utilizada no Brasil. O seu emprego foi muito incentivado para substituir a gasolina, na movimentação de veículos leves – os automóveis. O álcool é uma clássica fonte renovável de energia, que todos os anos pode ser produzido por crescimento de nova quantidade de biomassa, utilizando novamente o carbono atmosférico resultante das reações de combustão e fixando novas quantidades de energia luminosa provenientes do Sol. Uma enorme vantagem do uso do álcool como combustível deriva do fato de ser ele um composto único, formado de um só tipo de molécula – o etanol. Assim a mistura ar e comburente torna-se mais fácil (BRANCO, 1990).

Os veículos para transportar os materiais na indústria de madeira são bastante variados em modalidade, capacidade de carga e custo inicial. Assim, a relação dos equipamentos em um caso particular deve a fatores como versatilidade, custo inicial, custo por unidade de material manejada ou transportada, natureza do material a ser manejado e disponibilidade de espaço, entre outros (BROWN e BETHEL, 1965, KOCH, 1976).

As máquinas de transporte e movimentação de materiais como guias, empilhadeiras, caminhões, tratores, correias transportadoras e carrinhos se utilizam onde o material a ser transportado ou movimentado pode ser encontrado em diversas formas ou dimensões como toras, lâminas e resíduos diversos. Uns são adequados a cargas mais pesadas e maiores como por exemplo caminhões e guias. Uns destinam a movimentação no interior da fábrica enquanto outros fazem transporte a distâncias maiores ou externas à fábrica (BROWN e BETHEL, 1965).

A literatura consultada, que trata do uso de energia e tipo de combustíveis, fornece poucos dados referentes ao consumo específico para a indústria de compensado. Mas a Tabela 15 fornece um indicativo de consumo geral de energia química na industrialização dos principais produtos florestais. Esta Tabela apresenta os dados referentes ao transporte geral como sendo superior ao relativo a colheita de toras. Contudo, não especifica as operações incluídas neste transporte e seus respectivos consumo. Estas operações de transporte mais destacadas devem ser: transporte das toras, movimentação de materiais,



consumo no pátio da indústria devido a movimentação de toras e carga de produtos e a distribuição dos produtos acabados junto aos agentes de venda.

Verifica-se, com base nos dados mostrados na Tabela 15, que o consumo geral para o transporte na indústria de compensado gira em torno de 55 litros de diesel ou pouco mais de 500Mcal por tonelada de produto. De maneira óbvia, este consumo é significativamente maior quando se considera somente o transporte da madeira como matéria prima.

TABELA 15. CONSUMO GLOBAL DE ENERGIA QUÍMICA REQUERIDA NA MANUFATURA DE PRODUTOS FLORESTAIS

Produtos	Colheita de toras		Transporte		Total	
	Diesel (L/ ton seca)	(Mcal/ ton seca)	Diesel (L/ ton seca)	(Mcal/ ton seca)	Diesel (L/ ton seca)	(Mcal/ ton seca)
Mad. serrada conífera	25,97	238,23	54,14	496,67	80,11	734,90
Viga laminada	20,38	186,95	54,14	496,67	74,52	683,62
Assoalho de carvalho	29,55	271,07	54,44	499,45	83,99	770,52
Compensado de conífera <sup>1</sup>	20,60	188,72	57,30	525,73	77,90	714,45
Compensado de folhosa <sup>2</sup>	28,66	262,99	54,44	499,45	83,10	762,44
Chapa de partículas	127,13	1166,40	32,99	302,65	160,12	1469,05
Chapa estrutural (flake)	26,32	241,51	36,18	331,96	62,50	573,47
Chapa fibra isolante	17,13	157,14	34,23	314,02	51,36	471,16
Chapa dura	20,46	187,71	31,56	289,52	52,02	477,23
Chapa média densidade	21,56	197,81	31,56	289,52	53,12	487,33

<sup>1</sup> densidade do compensado de 462Kg/m<sup>3</sup> <sup>2</sup> densidade do compensado de 594Kg/m<sup>3</sup>

FONTE: KOCH (1976) e PINGREY (1976)

Neste sentido, KOCH (1976) detalhando o consumo de energia química no transporte de alguns materiais de madeira, verificou-se que a tora com casca necessita cerca de 150Mcal por tonelada seca; resíduos florestais 135Mcal por tonelada seca e para cavacos 191Mcal por tonelada seca.

#### 2.3.4. Energia Humana

O esforço físico resulta de qualquer atividade desenvolvida pelo homem, seja durante o período de descanso até a prática de exercícios pesados (SEIXAS, 1991; SEIXAS & ANTIQUEIRA, 1993).

Em termos operacionais, o esforço é caracterizado como trabalho. "O trabalho é considerado pesado para qualquer atividade que exija um grande esforço físico, caracterizado por um consumo elevado de energia e severa pressão no coração e pulmões. O consumo de energia e capacidade cardíaca estabelecem limites para a performance sob trabalho pesado, e estas funções são sempre usadas para determinar o grau de severidade em uma tarefa física" (GRANDJEAN, 1968).

O termo metabolismo é usado para descrever os processos químicos que se desenvolvem continuamente nas células para sobrevivência e demais atividades. O metabolismo básico significa toda energia necessária para os processos vitais como o bombeamento de sangue, metabolismo celular, atividades glandulares e controle da temperatura do corpo. A energia básica necessária depende do tamanho do corpo, sexo, idade, temperatura do corpo e do ambiente e estado de gravidez (SEIXAS, 1991).

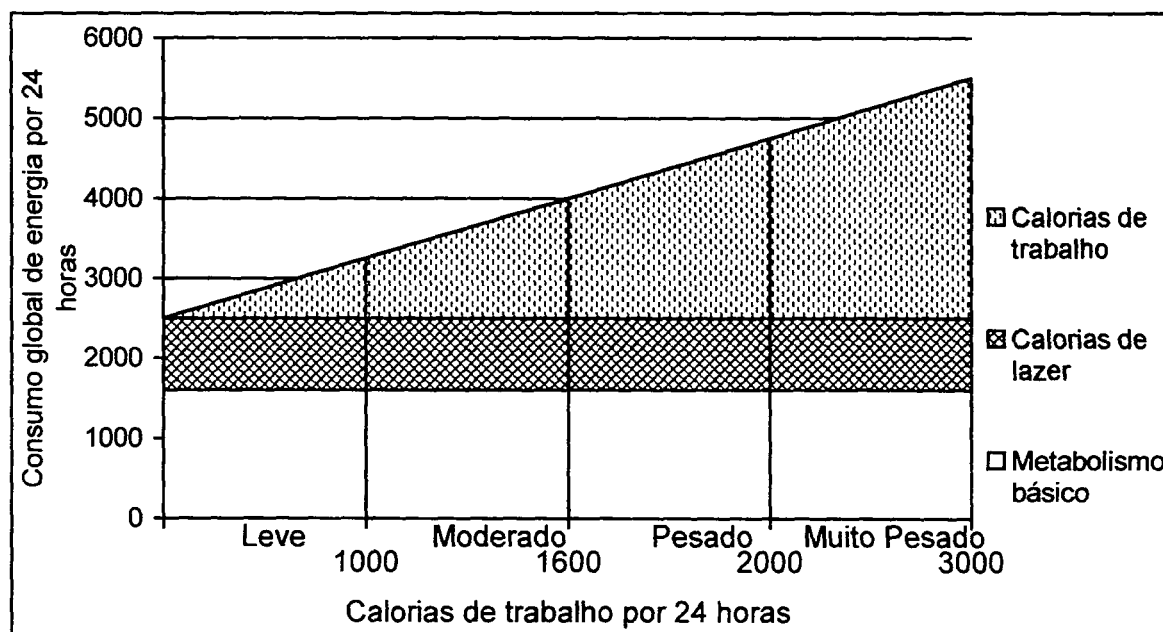
A energia consumida ao realizar-se um tipo de tarefa, além da despendida no metabolismo básico (Figura 9) é denominada de energia de trabalho (FAO, 1990). A carga física no corpo do trabalhador pode ser classificada com base na energia extra necessária para realizar tarefas para um dia de trabalho de 8 horas como:

< 1000calorias.....	trabalho leve
1000 à 1600 calorias .....	trabalho moderado
1600 à 2000 calorias .....	trabalho pesado
>2000 calorias .....	trabalho muito pesado.

O trabalho realizado no serviço florestal é considerado como uma das difíceis ocupações, sendo que a maior parte das atividades do setor florestal podem ser classificadas de trabalho moderado a trabalho pesado (SEIXAS, 1991).

Partindo da classificação apresentada pela FAO (1990) e com base na Figura 9 e considerando-se os resultados do trabalho de SANTANA (1998), depreende-se que o consumo geral de energia por operário da indústria florestal deve situar-se entre 3200 e 4800Kcal à cada 24 horas.

FIGURA 9. CONSUMO GLOBAL DE ENERGIA DE UM HOMEM COMPARADO COM SEU CONSUMO TRABALHANDO



FONTE: Grandjean (1982) citado por FAO (1990)

A ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO (1968) ao classificar determinadas operações florestais, propõe que o gasto diário com energia no trabalho não deve exceder a 2000 calorias diárias (4calorias/minuto) e estipulou um total de energia de 3500 calorias/per capita/dia a ser fornecida no início da jornada de trabalho.

Não foram encontrados dados específicos mostrando o consumo de energia para trabalhadores da indústria de compensado. Mas a título de ilustração, diversos autores como Hapelgruber & Grieffenhagen, citados por SANTANA (1998) e FAO (1990), recomendam, para condições de trabalho com moto-serra, um consumo médio diário de 4.000 calorias. OLIVEIRA e SEIXAS (1985) num estudo de dieta balanceada para trabalhadores em atividades florestais obtiveram resultados satisfatório fornecendo uma suplementação alimentar média de  $3518,6 \pm 77,3$  calorias "per capita" no decorrer da jornada de trabalho e estimando cerca de 500 calorias no horário de descanso.

A nutricionista SCHLAFNER (1999, Informação pessoal) sugere como consumo adequado, em termos de valor calórico dia, de 3670Kcal/operário; sendo 695Kcal no café matinal, 1265Kcal no almoço, 645Kcal no café da tarde e 1065Kcal no jantar. Este cálculo considera um operário de 28 anos e 65Kg de peso, clima temperado, sexo masculino, realizando trabalho que demanda esforço freqüente para movimentar carga e com

constantes movimentos de corpo, como espera-se que ocorre com um número significativo de funcionários de uma indústria.

## 2.4 PARTICIPAÇÃO DA ENERGIA NOS CUSTOS DE PRODUÇÃO DE COMPENSADO

Segundo a ABIMCI (1995), dos insumos utilizados na fabricação do compensado, é a madeira que tem o maior peso na composição dos custos industriais - aproximadamente 50%. Ainda segundo tal entidade, a madeira, em forma de lâminas, é comprada de centenas de pequenas fábricas laminadoras localizadas nem sempre próximas dos centros de consumo e estima-se que de 60-70% das lâminas compradas vem da Região Norte do Brasil, suprimindo as indústrias de todo o País.

Os custos fixos representam cerca de 11% do custo total. A mão-de-obra está relacionada nos custos fixos. Em termos de custos variáveis, o componente que mais tem participação são as lâminas. O item frete refere-se, tacitamente, como consumo de energia química ou de combustíveis. Ao agregar os itens geração de vapor, energia elétrica e frete, como insumos energéticos, estes representaram cerca de 20 à 25% dos custos de produção de compensado (GONÇALVES, 1998 e BERGER, R., informação pessoal com base em dados de 1995).

Para as fábricas localizadas no Sul, e que utilizam lâminas de *Pinus* como matéria-prima, o perfil dos custos é um pouco diferente, havendo menor participação dos fretes.

SILVA (1987) cita que entre os insumos principais para a formação de custo do compensado são, além da madeira, a cola, o extensor, a energia elétrica, lenha, água, lixa, fita gomada, fio industrial, catalisador, tinta, massa, grampos, imunizantes e verniz. Este autor não quantificou especificamente a participação da energia nos custos, apenas menciona que ela representa um gasto significativo para formar o preço do compensado.

A FAO (1990) dividiu a estrutura dos custos de produção em seis grandes itens, sendo eles: matéria-prima; energia elétrica, combustível, mão-de-obra; insumos; gastos com administração.

Alguns destes gastos estão relacionados na Tabela 16. É importante destacar que os valores apresentados são relativamente baixos. Mas neles não estão quantificados toda as

formas de energia empregada na indústria. A energia térmica que segundo diversos autores representa o maior consumo quantitativo e, ainda, os combustíveis não aparecem citados.

Ademais, é importante destacar que os resíduos da indústria têm sido empregados para geração de energia térmica sem preocupação da sua valoração. Mas, na atualidade, devido ao aproveitamento de parte significativa dos resíduos como matéria-prima na industrialização de alguns tipos de painéis reconstituídos, o seu valor tende a aumentar e, por conseguinte, influir de forma a majorar os custos da energia na indústria de compensado (BADGER, 1994).

TABELA 16. ESTRUTURA DE CUSTOS DE COMPENSADOS EM FÁBRICA DOS ESTADOS UNIDOS E DO JAPÃO.

Item	Fábrica nos EUA (%)	Fábrica no Japão (%)
Energia elétrica	2,9	6,0
Mão-de-obra	36,9	14,2
Insumos	12,2	20,2
Lâminas	45,0	59,5
Administração	3,5	-

FONTE: FAO(1989)

SPERANDIO (1987) num estudo sobre demanda de compensado, verificou que o preço da energia elétrica tem elasticidade de 0,179 no preço e -0,149 no consumo de compensado, enquanto o preço da madeira tem 0,322 e -0,269 e o valor das exportações 0,472 e -0,433 respectivamente, elasticidade no preço e no consumo. As elasticidades para a variável preço de energia elétrica indica que um aumento de 10% no seu preço provocaria um aumento no preço de compensado de 1,79%.

Um item muito importante no custo de energia na indústria de transformação mecânica é o processo de secagem, que demanda quantidades relativas elevadas de energia elétrica e térmica, podendo representar entre 60 e 70% do consumo geral (COMSTOCK, 1975).

Outro fator importante do custo de energia elétrica é o efeito de diferenças tarifárias, que decorrem de valores distintos para distintos horários (COPEL, s. d.; CONSERWATT ENGENHARIA, 1996).

De modo geral os autores se referem a energia como sendo somente a energia elétrica. Contudo, deve-se ater a todas as formas de energias utilizadas na indústria. Assim, deve ser entendida por energia consumida na industrialização do compensado a energia elétrica, a energia térmica proveniente da geração de vapor e a energia química oriunda da demanda dos combustíveis necessários a movimentação e transporte de materiais e produtos. Com esta visão real do consumo de energias, será possível verificar sua estratégica importância como insumo fabril no compensado.

Um indicativo de custo de energia na fabricação de compensado e outros produtos é mostrado na Tabela 17.

Os valores médios de preços atualizados, situam-se entre R\$80,00 a R\$120,00/m<sup>3</sup>. Se considerar o preço médio praticado no mercado na primeira metade da década de noventa, citados por TOMASELLI, 1998a) e ABIMCI (1995), o custo de energia geral pode representar até 25% da produção de compensado.

TABELA 17. COMPARAÇÃO DOS CUSTOS DE ENERGIA NA PRODUÇÃO DE ALGUNS PRODUTOS FLORESTAIS

Indústria	Serrada (U.S.\$/m <sup>3</sup> )	Compensado (U.S.\$/m <sup>3</sup> )	Laminas (U.S.\$/m <sup>3</sup> )	Chapa fibras (U.S.\$/m <sup>3</sup> )	Chapa partícula (U.S.\$/m <sup>3</sup> )
Serraria	8,00-18,50				
De compensado		27,30-57,00			
De chapa de fibra				67,70-122,00	
De ch. Partículas					41,80-59,90
Integrada no. 1 <sup>1)</sup>	5,80-15,10	23,00-51,10			21,30-44,10
Integrada no. 2 <sup>2)</sup>	5,80-15,00	23,00-50,40			21,30-44,00
Integrada no. 3 <sup>3)</sup>		27,30-53,40	22,10-48,10		30,10-49,80

<sup>1)</sup> Serraria integrada com fábrica de compensado e chapa de partículas, <sup>2)</sup> Fábrica de serrado, compensado e chapa de partículas integrada com manufatura de peças para residência, <sup>3)</sup> Fábrica de compensado, lâminas integrada com chapa de partículas.

FONTE: EKONO YO (1980)

A Tabela 18 permite mostrar a participação relativa de cada modalidade de energia no seu custo total.

TABELA 18. COMPARAÇÃO RELATIVA DOS CUSTOS POR TIPO DE ENERGIA NA OBTENÇÃO DE ALGUNS PRODUTOS FLORESTAIS

Discriminação	Serrada (%)	Compensado (%)	Chapa de fibras (%)	Chapa particuladas (%)
Energia térmica	10,1	8,0	25,3	17,8
Energia elétrica	27,6	42,1	42,5	46,3
Energia química <sup>1)</sup>	9,7	7,5	6,6	4,7
Mão-de-obra operacional	3,9	3,4	2,0	2,5
Manutenção equipamentos	5,3	4,1	2,5	3,6
Custo capital investimento	43,4	34,9	21,1	25,1
Soma	100,0	100,0	100,0	100,0

<sup>1)</sup> Combustíveis, lubrificantes e outros

FONTE: EKONO YO (1980)

O custo da energia térmica e de energia química para a industrialização do compensado e serrado é bem inferior em relação ao custo destas mesmas fontes, para a fabricação de chapa de fibra e de particuladas. O menor custo relativo referido a energia térmica, se deve ao fato dos resíduos (AROLA, 1976, ELLIS, 1975, SHADE, 1976) representarem mais de 95% dos combustíveis; já ao contrário, na produção das chapas, os resíduos contribuem com menos de 10% da demanda energética para calor (OLIVER, 1975). A baixa participação do custo relativo a energia química, pode, em parte, ser explicada devido ao uso de combustível derivado de petróleo não ocorrer nos equipamentos industriais.

O custo de investimento de capital é apresentado como expressivo, cerca de 35% dos parâmetros que compõem o custo das energias empregadas na fábrica de compensado (Tabela 18). Com base numa cotação de preços de caldeiras realizada recentemente, deduz-se que grande parte do capital de investimento para energia na indústria típica de compensado seja devido a aquisição do sistema gerador de vapor. Se agregar a amortização deste capital ao custo de energia térmica, esta deverá se dar com maior peso no custo geral de energia.

Por outro lado, o custo de consumo de energia elétrica na fabricação do compensado é mostrado como sendo o de maior participação relativa, muito embora o seu

consumo quantitativo é apresentado menor em relação ao consumo de energia térmica por diversos autores como EKONO YO (1980), FAO (1991) e OLIVER (1975).

## 2.5 BIOMASSA FLORESTAL COMO FONTE DE ENERGIA

### 2.5.1 Madeira como Energético

#### 2.5.1.1 Aspectos Gerais

A biomassa é uma fonte de energia renovável de significativa expressão na matriz energética de vários países, em particular, na matriz energética brasileira e os aspectos econômicos, ambientais, sociais e políticos potencializam sua utilização como vetor de desenvolvimento regional sustentável (CENBIO, 1998). O uso de biomassa energética aumenta a oferta de empregos e a riqueza no campo, reduz o gasto de divisas estrangeiras na importação de petróleo, ajudando a equilibrar a balança de pagamentos e contribui para reduzir o efeito estufa ao substituir combustíveis fósseis (COELHO, 1998, CENBIO, 1998).

A biomassa através da madeira foi o primeiro vetor energético empregado para a Humanidade (NOGUEIRA, 1996a). No Brasil, a madeira foi a principal fonte de energia até as décadas de sessenta e setenta, conforme mencionado por BRITO (1993), quando foi suplantada, respectivamente, pelo petróleo e pela hidroeletricidade. Os países pobres e os em desenvolvimento são grandes usuários da biomassa florestal para geração de energia. Esta relevância é mostrada em levantamentos da FAO (1993b).

ROJAS-BELMAR (1996) destaca a madeira como combustível energético considerando uma energia verde, devido ao caráter renovável e de menor impacto ambiental em relação aos combustíveis fósseis.

TILLMAM (1978) estima, nos Estados Unidos, um consumo total de madeira de 310,5 milhões de toneladas, gerando 199,2 milhões de toneladas de resíduos gerais e o resíduo para energia equivalerá a  $4,03 \times 10^{15}$  de BTU., no ano 2.000. Este valor, segundo o mesmo autor representará 89% do total de energia gerada a partir de madeira.

BRITO (1993), relata que em termos absoluto, o montante utilizado de madeira no Brasil para geração de energia nos últimos 10 anos vem se mantendo relativamente estável,



entre 240-260 milhões de metros cúbicos anuais. Isto coloca a geração de energia como um importante componente de utilização de recursos florestais no Brasil.

O consumo de lenha nas duas últimas décadas tem situado entre 83 e 107 milhões de toneladas por ano (FREITAS, 1997). Em 1995, o seu consumo se dividia em: produção de carvão vegetal, 44,5%, uso residencial, 25,8%, uso industrial, 20,9%, e usos agrícolas, 7% (BRASIL, 1996).

O Brasil tem uma matriz energética muito favorável, onde as fontes de energia primária renovável representam cerca de 60% do consumo total de energia (BRASIL, 1993). Utilizando os dados deste autor, verifica-se que a biomassa, através da lenha, seus derivados e resíduos e produtos da cana-de-açúcar, participou com 30,8% da energia produzida em 1992, a nível nacional. Em contrapartida, com base em WORLD ENERGY COUNCIL (1992), em países desenvolvidos como Estados Unidos, Canadá, Alemanha e França, as fontes de energia de biomassa representam, tão somente, cerca de 5%.

O documento intitulado Eletricidade de Biomassa produzido pelo DEPARTMENT OF ENERGY U.S. (1993) destaca a importância da biomassa no contexto de combustíveis energéticos. Relata que a capacidade de geração de energia elétrica a partir da biomassa que em 1979 era de 200MW e 1989 cerca de 6500MW; em 1999/2000 deveria situar-se em 10.000MW e no ano de 2010 projeta-se uma geração de 20-25.000MW.

DUMON (1982) e BETHEL (1980) destacam as seguintes vantagens principais no uso da madeira e resíduos como fonte de energia: i) ser essencialmente sem emissão tóxica, devido os baixos teores dos Oxidos de enxofre e de nitrogênio; ii) boa distribuição geográfica, onde 30% das terras globais são cobertas por florestas; iii) versatilidade de uso, podendo ser empregada nas formas sólida, líquida e gasosa; iv) uso da energia solar, pois a madeira representa uma rota natural para armazenar e usar a energia do Sol em larga escala; v) forma de estoque de energia para o futuro e vi) ser um combustível renovável.

#### 2.5.1.2 Poder calorífico

O poder calorífico corresponde a quantidade de calor liberada pela combustão completa da unidade de peso de combustível sob volume constante, considerados a 0°C os elementos da combustão e resfriado até esta temperatura os produtos resultantes, como também que os produtos resultantes da combustão do carbono e enxofre, encontram-se em estado gasoso ( $\text{CO}_2$  e  $\text{SO}_2$ ) e que o  $\text{N}_2$  não tenha oxidado. No poder calorífico superior

considera-se condensada a água procedente da combustão do hidrogênio ou a umidade do combustível, ao contrário, o poder calorífico inferior supõe-se no estado de vapor a água procedente da combustão do  $H_2$  ou a umidade do combustível (TORREIRA, 1995, DINIZ, 1981). Nos cálculos térmicos é vantajoso considerar o poder calorífico inferior por este representar a quantidade de calor útil.

A determinação direta e experimental do poder calorífico superior dos combustíveis é feita mediante o emprego de bomba calorimétrica tipo Berthelot-Mahler, Davis, Parr, Junker ou similares. Para a obtenção do poder calorífico inferior utiliza-se a bomba Kröler. De forma indireta e com relativa aproximação o poder calorífico dos combustíveis pode ser obtido, a partir da análise química elementar, cujo princípio é “o calor que desenvolve um combustível composto é igual à soma das quantidades de calor liberadas pela combustão dos elementos que o constituem, sem considerar a quantidade de  $H_2$  que pode formar águas ao se combinar com o  $O_2$  do combustível” (JUVILLAR, 1984, KROGH, 1982).

O poder calorífico inferior da madeira, para efeito prático e de maneira simplificada, pode ser estimado matematicamente pela seguinte fórmula (DUMONT, 1980; KROGH, 1982; HARLOW, 1981; CARVALHO, s.d.):

$$PCI = 4590 - 51,9 * U \quad \text{onde}$$

PCI = poder calorífico inferior

U = % de umidade na madeira

Por sua vez, JUVILLAR (1984) apresenta a seguinte fórmula para expressar o poder calorífico inferior levando-se em consideração o teor de carbono do combustível vegetal:

$$PCI = 84,2 * \%C$$

Na prática, ocorre que no processo de determinação do poder calorífico, geralmente, emprega-se o calorímetro. Este fornece como resultado o poder calorífico superior. Segundo BRITO (1993) e RESCH (1982) para obter o poder calorífico inferior, que é o preferido, usa-se da relação entre o PCS e o PCI, a qual é regida pela quantidade de hidrogênio elementar da madeira. Tem-se, então, descontado o calor de vaporização da água formada no processo conforme a equação:

$$PCI = PCS - 600 * 9H/100 \quad \text{onde:}$$

PCI = poder calorífico inferior em kcal/kg

PCS = poder calorífico superior em kcal/kg

H = teor de hidrogênio em %.

Como o teor de hidrogênio de madeiras em geral é relativamente constante, e situado em torno de 6% (BRITO, 1993, RESCH, 1982, KOCH, 1976, CORDER, 1975), a equação anterior resulta:

$$PCI = PCS - 324.$$

Os valores de poder calorífico superior encontradas para madeiras variam entre 4700 e 5000kcal/kg (MARTINS, 1980; RESCH, 1982; FUNG, 1982); os valores médios situam-se na ordem de 4300kcal/kg. Aplicando este valor na equação acima, obtêm-se um poder calorífico inferior médio aproximado de 4000kcal/kg (BRITO, 1993).

O conteúdo de umidade é sempre um parâmetro importante a considerar para efeito de avaliação da madeira e seus resíduos para fins energéticos. É importante especificar sempre se a umidade da madeira ou resíduo é dada em base seca ou base úmida porque as diferenças podem ser grandes. Uma madeira com 80% de água em base seca tem 80Kg de água por cada 100Kg de madeira seca (JUVILLAR, 1984).

À umidade tem o efeito negativo de alterar muito o poder calorífico superior da madeira (JUVILLAR, s.d.; BRITO, 1993; MARTINS, 1980; BROWN e BETHEL, 1965, DINIZ, 1981, PRESTON, 1982).

À umidade de 67% base úmida ou 203% base seca, a madeira deixa de ser combustível (JUVILLAR, 1984). O tempo e a temperatura necessários para provocar a sua ignição da madeira aumentam, a medida que a percentagem de água é maior. Assim, a presença de grandes porcentagens de água na madeira e a necessidade de secá-la antes de queimá-la constituem uma grande desvantagem para a sua utilização como combustível.

Para BRITO (1993), RESCH (1982), PRESTON (1982) e FUNG (1982) o teor de umidade é o fator que mais exerce influência sobre a combustão da madeira. BRITO (1993) e RESCH (1982) consideram que para 1Kg de água contida na madeira são necessários cerca de 600Kcal de energia na forma de calor para evaporá-la, os quais devem ser subtraídos do seu poder calorífico. O processo de queima torna-se de controle mais difícil dada a variação freqüente no teor de umidade das madeiras, além de representar perda de energia.

A redução da umidade é desejável para aumentar o valor da madeira como combustível e diminuir os custos de seu manejo e transporte (MARTINS, 1980; RESCH, 1982; BETHEL, 1982; PRESTON, 1982; DUMON, 1982).

A partir do poder calorífico inferior e do teor de umidade da madeira pode-se deduzir a quantidade de energia a ser gasta com a evaporação da água contida na madeira;

obtém-se o poder calorífico líquido para uma determinada umidade (BRITO, 1993; DOAT, 1977; RESCH, 1982).

$$PCL_u = [(PCI - 6U) / (100 + U)] * 100 \quad \text{onde:}$$

$PCL_u$  = poder calorífico líquido à umidade "U" em kcal/kg

PCI = poder calorífico inferior em kcal/kg

U = teor de umidade da madeira base seca em %.

Com base nesta equação, um poder calorífico inferior de 4000kcal/kg para madeira com teor de umidade zero, reduz-se drasticamente para 2938kcal/kg quando esta mesma madeira estiver com cerca de 30% de umidade. Nesta perspectiva, PRESTON (1982) cita que a madeira verde tem poder calorífico com cerca de 2668Kcal/Kg, enquanto seca é cerca de 5002Kcal/Kg, ou seja, uma ganho em 87% de eficiência energética. Resultado semelhante é apontado por ELLIS (1982).

Por sua vez, mostrando o potencial da madeira e o efeito da umidade na conversão energética, TOMASELLI (1983) mostra que uma tonelada de madeira poder gerar: 2520Mcal verde, 4368Mcal seca ao ar com umidade de 10% e 4800Mcal absolutamente seca.

A densidade é outro parâmetro importante para caracterizar a biomassa florestal para geração de energia. Ela exprime a quantidade de massa contida num determinado volume de material.

No caso da madeira sólida, uma das formas mais comuns de exprimir sua densidade é através da chamada densidade básica (BRITO e BARRICHELO, 1982). Eles expressam a densidade básica como a relação entre o peso seco de madeira e o seu respectivo volume sólido a uma umidade correspondente à saturação.

O calor gerado a partir da combustão da madeira depende da concentração da "substância madeira". As madeiras mais densas apresentam maior poder calorífico por unidade volumétrica (Weeks, Lassoie e Baker, 1977, citados por BRITO e BARRICHELO, 1982).

BRITO e BARRICHELO (1982) enumera as seguintes vantagens para o uso de madeiras de maiores densidade para fins energéticos: a) menor área de estocagem e manuseio da madeira; b) maior rendimento em matéria seca no transporte; c) maior rendimento dos picadores, quando for necessária a transformação da madeira em cavacos; d) maior rendimento volumétrico dos fornos de carbonização; e) maior rendimento das caldeiras para queima direta da madeira; f) maior rendimento dos gaseificadores da madeira

para produção de gás e de síntese do metanol; g) maior rendimento dos reatores para hidrólise da madeira.

O tamanho e a forma das partículas de madeira têm destacada importância, tanto para as características de manuseio, armazenagem e transporte, como para a eficiência da queima dos resíduos. Enquanto as partículas finas e serragem podem ser queimadas em suspensão, os resíduos maiores, como cavacos grandes, aparas, recortes, resíduos triturados e as costaneiras e a lenha, necessitam de um tempo de permanência maior durante a queima, o que geralmente se faz em sistema de grelhas (FONTES, 1994).

### 2.5.2 Resíduos na Indústria

Uma das características que sobressaem na indústria à base de madeira, desde sua iniciação, tem sido o grande subproduto do desperdício de madeira decorrente das operações de colheita e da industrialização (TROSSERO, 1996, PRESTON, 1982). A tecnologia de madeira moderna tem encontrado aplicações para boa parte deste material. Um dos usos mais destacados destes subprodutos ou resíduos é como combustíveis para produzir vapor (BROWN e BETHEL, 1965, COMSTOCK, 1982, OLIVER, 1975, AROLA, 1976, ELLIS, 1982, PRESTON, 1982).

PONTES & SILVA (1991) e BORGES et al. (1993) destacam que os resíduos basicamente ocorrem em dois grupos: de pequenas dimensões - pó, serragem, cavacos e lascas, e de média a grandes dimensões - cascas, costaneiras, aparas, âmagos, rolos-restos e pontas. Para BORGES et al. (1993) na maior parte das operações de uma indústria, cerca de dois terços dos resíduos são de maiores dimensões e, afortunadamente, estes são também os que mais facilmente podem ser aproveitados como matéria-prima para uma posterior conversão. Segundo JARA (1987), o volume de resíduos gerados na fase industrial pode ser expressado como sendo a diferença entre o volume de madeira em toras que entra na fábrica e o volume de madeira processada ou desdobrada. A maior quantidade dos resíduos são gerados por ocasião do desdobro das toras (conversão primária) que são estimados em 50% do volume total processado (TAVARES, 1988). MACLAIN (1985) menciona o uso de resíduos provenientes das indústrias do setor florestal para fins de fabricação de chapas, obtenção de celulose, sendo o restante para energia.

A madeira vem sendo ao longo dos séculos utilizada para a geração de energia, através do processo mais simples, que é a sua queima direta. Entretanto, a disponibilidade dos resíduos de madeira para energia é uma questão muito complexa segundo TILLMAN (1978). Tal autor afirma que ela é função do manejo da floresta; natureza da floresta; condições de extração/exploração; e processo de industrialização para o qual se utiliza a madeira.

A produtividade da indústria, segundo TAVARES (1988), é dependente de fatores importantes como características da matéria-prima, qualidade e tipos de equipamentos, seu tamanho e dos tipos de produtos a serem obtidos. Por sua vez, HOCHHEIM & MARTIN (1993) afirmam que a qualidade das toras a serem desdobradas influencia no rendimento da madeira e reflete sobre todo o sistema de produção industrial, com conseqüências imediatas na produtividade e nos custos.

Em estudos realizados por JANKAUSKIS (1981), são apresentadas análises dos rendimentos de 30 espécies de madeiras em função das classes diamétricas. Deste trabalho, infere-se que o rendimento na conversão primária da madeira é relativamente baixo, o que significa alta produção de resíduos. Justus citado por KOLLMAN (1964) relata que uma tora com diâmetro de 20cm produz aproximadamente 44% de madeira serrada na Suíça. A nível geral, BORGES et al. (1993), citando fatores de conversão publicados pela FAO, afirmam que aproximadamente 40% de todo o suprimento mundial de toras para indústrias são transformados em resíduos por ocasião dos cortes das mesmas.

Num estudo sobre introdução de novas espécies tropicais para produção de compensados na Amazônia, TOMASELLI (1992), utilizando-se espécies de várzeas e de terra firme, observou que o rendimento médio foi de 38% para madeira de várzea, enquanto para madeira de terra firme foi de 42%, partindo da tora acabada no pátio com índice 100%. Isto denota-se uma perda de cerca de 60%, sem considerar as ocorridas na exploração e no transporte das toras. ANDRADE (1992) dá o seguinte exemplo, em fábrica de compensado na Malásia e Indonésia, para a espécie de "meranti" com diâmetro médio de 45 centímetros: pontas de toras 4%; rolete 12%; laminas verdes 10%; encolhimento relativo a secagem 7%; lâminas secas 10%; esquadrejadeira 7,5% e lixadeira 3,5% totalizando 53,5% de perdas. O rendimento total foi de 46,5%.

Numa indústria de compensado a produção média de resíduos situa em torno de 55% (Tabela 19). Porém, quando comparado com uma indústria integrada, a quantidade de resíduos gerados é significativamente menor, cerca de 25% (Tabela 20).

TABELA 19. QUANTIDADES MÉDIAS DE RESÍDUOS GERADOS NA INDUSTRIALIZAÇÃO DE COMPENSADO DE CONÍFERAS

Discriminação	Volume sólido		Peso seco	
	(m <sup>3</sup> )	%	(10 <sup>3</sup> Kg)	%
A) Compensado	970	44,7	420	44,1
B) Total de resíduos de madeira	950	43,8	413	43,3
- Destopo	100	4,6	42	4,4
- Rolo-resto	100	4,6	45	4,7
- Lâminas verdes	520	24,0	227	23,8
- Lâminas secas	180	8,3	80	8,4
- Serragem e aparas	50	2,3	19	2,0
C) Casca	250	11,5	120	12,6
D) Total casca+resíduos madeira	1200	55,3	533	55,9
E) Toras	2170	100,0	953	100,0

FONTE: PINGREY (1976)

TABELA 20. DADOS DE PRODUÇÃO E GERAÇÃO DE RESÍDUOS NUMA INDÚSTRIA INTEGRADA DE COMPENSADO E CHAPA DURA.

Entrada de Material		Produto		Resíduos gerados e produção de energia			
Discriminação	Kgx10 <sup>6</sup> /	Tipo	Kgx10 <sup>6</sup> /	Tipo	Kgx10 <sup>6</sup> /	Umidade	PCS
	mês		mês		mês	(% b.u.)	(Mcal/mês)
Tora	15,59	Compensado	9,31	- Da tora			
Lâmina compr.	2,31	Lâm. Vend.	0,14	(casca e			
Serragem+aparas	3,50	Chapa dura	3,35	outros)	2,01	42,4	1010
Cola	0,76	Cavacos	2,95	- Do			
Outros	0,07	Miolo	1,04	processo	3,43	4,0	1728
Total	22,23		16,79		5,44	18,2	2738
	(100,0)		(75,5)		(24,5)		

<sup>1)</sup> Combustíveis, lubrificantes e outros

FONTE: OLIVER (1975)

### 2.5.3 Possibilidade de Uso e Tecnologia

As possibilidades para geração de energia e obtenção de outros produtos a partir da biomassa florestal vêm sendo estudadas há muitos anos, tanto por instituições de ensino e pesquisa como pela iniciativa privada, em diferentes regiões do planeta (TROSSERO, 1996). Estes estudos foram impulsionados com a reconhecida crise energética do petróleo na década de setenta. Na década de noventa foi observado novo impulso na retomada de estudos sobre as opções energéticas para fazer frente a questões de natureza ambiental e, ainda, mais recentemente, em face ao descontrole nos preços de petróleo no mercado internacional.

Historicamente, a madeira foi a primeira matéria-prima utilizada pelo homem para obtenção de energia, onde a lenha se destaca como precursora de fontes primárias de energia. A biomassa florestal, representada pela lenha e seus derivados como o carvão vegetal, o gás (oriundo da gaseificação), o alcatrão, o briquete e o metanol, representam o segmento quantitativamente mais importante do modelo de desenvolvimento econômico e social baseado no uso e na valorização desta matéria-prima (BRITO, 1993; TROSSERO, 1996; BEST, 1996)

De maneira geral, a madeira pode ser classificada em duas categorias de produção de energia: i) como fonte primária de energia a partir de sua combustão direta e ii) como fonte secundária de energia, utilizando-se de combustíveis derivados – gases, líquidos, carvão vegetal, briquetes e alcatrão –, obtidos por meio de alguns dos processos de conversão, tais como a carbonização, a gaseificação e a hidrólise (WALTER, 1998, MARTINS, 1980). Na primeira categoria estão as instalações baseadas na produção de vapor (energia térmica) para usos industriais, com queima exclusiva ou queima conjunta da biomassa com outro combustível, enquanto na segunda categoria estão as instalações de gaseificação ou pirólise integradas à turbinas a gás, com motores de combustão interna destinadas produção de eletricidade (WALTER, 1998).

Segundo MARRA (1964) e GOLDSTEIN (1980) os resíduos podem ser empregados para energia, de maneira idêntica à madeira, através dos processos de combustão direta, pirólise, gaseificação e hidrólise.

A Tabela 21 lista os processos mais comuns de aproveitamento de madeira e resíduos para geração de energia, indicando os combustíveis intermediários, com a respectiva eficiência de conversão térmica.



TABELA 21. CONVERSÃO DE MADEIRA E RESÍDUOS EM COMBUSTÍVEIS SECUNDÁRIOS

Processos	Combustíveis Secundários	Eficiência Térmica de Conversão
Combustão	-	60 – 75
Gaseificação	Gás quente	80 (Madeira com 20% umidade)
Carvoejamento	Carvão vegetal	62 (Madeira com 35% umidade)
Síntese de metanol	Metanol	35
Hidrólise ácida	Etanol	21 (1ton. Madeira produz 196litros)

FONTE: D'ÁVILA e MAKRAY (1981)

A combustão se apresenta como a primeira e mais antiga tecnologia de utilização da biomassa para energia, especificamente a térmica.

A quantidade total de calor gerado por meio da combustão completa da madeira varia de acordo com os teores de carbono, oxigênio, hidrogênio e de resina contidos na madeira, e, em consequência, este valor varia também com espécie (JUVILAR, 1984; DOAT, 1977).

No geral, a biomassa pode ser utilizada para produção de energia na forma sólida, líquida ou gasosa (PRESTON, 1982, D'ÁVILA e MAKRAY, 1981, Tabela 22); sendo que a escolha da forma a ser empregada é função notadamente da sua aplicação final e, o processo de conversão da biomassa em energia é quase sempre baseado em via térmica (TOMASELLI, 1983). Este, citando King, informa que uma tonelada de madeira verde produz uma quantidade de energia de 2520Mcal; enquanto a mesma quantidade de madeira seca ao ar à 10% de umidade pode gerar 4368Mcal ou, em relação a eletricidade, cerca de 1260Kwh quando usa turbina de condensação e, ainda, 5010Kwh através do sistema de cogeração.

O processo da utilização da madeira e seus resíduos como fonte geradora de energia está relacionado à facilidade com que a madeira entra em combustão. A reação de combustão ocorre pela combinação do carbono da madeira com o oxigênio da atmosfera para formar o dióxido de carbono e pela combinação do hidrogênio da madeira com o oxigênio para formar água (NOGUEIRA, 1996b).

TABELA 22. CONVERSÃO DA MADEIRA EM ENERGIA

Material Básico	Quantidade	Energia ou Produto
a) Madeira - Verde (100%U)	1 ton	2520 Mcal
- Seca ao ar (10%U)	1 ton	4340 Mcal
- Seca (%U)	1 ton	4800 Mcal
b) Carvão	1 ton	7465 Mcal
c) Metanol	1 ton	5735 Mcal
d) Etanol	1 ton	7370 Mcal
e) Gás - Madeira + ar	1 m <sup>3</sup>	0,89 – 1,34 Mcal
- Madeira + oxigênio	1 m <sup>3</sup>	2,64 – 3,36 Mcal
f) Eletricidade Gerada		
- Turbina de condensação (madeira seca ao ar)	1 ton	1.260 Kwh
- Cogeração (madeira seca ao ar)	1 ton	5.010 Kwh+2785 Mcal
g) Produção de Carvão (madeira seca ao ar)	1 ton	300 Kg
h) Gaseificação – Injeção de ar (mad. seca ao ar)	1 ton	2.100 – 3.500 m <sup>3</sup>
- Injeção de oxigênio (mad. seca ao ar)	1 ton	1.000– 1.200 m <sup>3</sup>
i) Produção de Etanol (madeira seca ao ar)	1 ton	160 Litros (130 Kg)

FONTE: TOMASELLI (1983), adaptado de FUNG (1981)

A maioria dos combustíveis de biomassa tem bastante umidade. O primeiro estágio da combustão é a evaporação da umidade, ou seja, a sua secagem. Depois, o combustível já seco passa por uma estação de destilação e combustão dos componentes voláteis. Finalmente, após a queima dos voláteis, o resíduo de carvão não volátil alcança uma temperatura de chama e se queima na presença do ar. O material volátil e grande parte do resíduo de carvão se queimam acima da "cama" do combustível (BROWN e BETHEL, 1965, DINIZ, 1981).

A combustão direta é uma transformação via térmica de um combustível primário. É a forma mais antiga de utilização da madeira (BRITO, 1993; TOMASELLI, 1983; MARTINS, 1980). Através da queima há liberação de calor que é utilizado diretamente no cozimento ou no aquecimento de ambientes, ou indiretamente para a geração de vapor em caldeiras (Fung citado por TOMASELLI, 1993).

Neste caso, a madeira pode ser utilizada como encontrada na natureza, na forma de lenha ou resíduos, ou submetida à processo de transformação como seria o caso de carvão vegetal ou densificada na forma de peletes ou briquetes (TOMASELLI, 1989; DUMON, 1982). Tais transformações visam facilitar o manuseio, o transporte e melhorar a sua uniformidade alcançando melhor eficiência no processo de queima (MIGLIORINI, 1980; BRITO, 1995)

A queima direta da madeira produz calor, produtos químicos e gases, sendo que a combustão completa, além de calor, produz também vapor de água e dióxido de carbono (BAZZO, 1995; ASSUMPÇÃO, 1978).

A madeira como combustível possui a vantagem de ser renovável, ter baixo teor de cinzas e quantidade ínfima de enxofre; é volumosa e apresenta baixo poder calorífico, comparada a outros combustíveis como os derivados de petróleo (MARTINS, 1980).

Mediante o uso de energia da combustão da madeira, o vapor gerado poderá servir para aquecimento, força motriz ou para gerar eletricidade (BRITO & BARRICHELO, 1979).

Sendo um combustível sólido, a eficiência de queima é intimamente ligada ao tamanho das partículas de madeira a serem queimadas. Assim, a queima de toras de madeira dá um rendimento baixo devido a necessidade de usar um grande excesso de ar, enquanto um pó ou serragem queima como se fosse um líquido, permitindo operar com pequeno excesso de ar e alta eficiência (TORREIRA, 1995; KROGH, 1982).

No decorrer deste processo, o calor gerado pela queima é utilizado diretamente para tratamentos de alimentos ou aquecer ambientes, ou indiretamente para geração de vapor em caldeiras (Fung citado por TOMASELLI, 1983).

Os sistemas básicos de combustão direta podem ser classificados nos tipos: leito fixo, leito fluidizado e de queima em suspensão (Fung citado por TOMASELLI, 1983).

TOMASELLI (1983), DUMON (1982) e WALTER (1998) apresentam as seguintes características para tais sistemas de combustão da madeira: (i) Leito fixo: neste sistema a madeira é colocada sobre uma grelha onde é queimada, onde o oxigênio necessário à queima é injetado pela parte inferior. A madeira sobre a grelha forma estrato, sendo um de secagem, outro de carbonização e finalmente outro de gaseificação. As cinzas geradas passam através da grelha e depositam-se em recipiente coletor instalado abaixo da área de queima; (ii) Leito fluidizado: para este sistema utiliza-se de um leito aquecido, que quase sempre é constituído de areia. A madeira é injetada sobre o leito e em contato com elevadas

temperaturas entra em processo de combustão quase que instantaneamente. O leito é mantido em agitação em função do oxigênio injetado na parte inferior do leito com destino a formar a mistura necessária a queima. Esta movimentação do leito permite uma alta transferência de calor entre o leito, o ar e a madeira. O processo todo consiste na secagem da madeira, sua carbonização e gaseificação ocorridas no interior do leito. É um sistema mais complexo em relação ao anterior, mas mostra vantagens como a possibilidade de utilização de combustíveis com alto teor de umidade e baixo poder calorífico, altas taxas de transferência de calor e melhor eficiência; (iii) Queima em suspensão: é um processo onde deve ser adotada madeiras transformada em partículas minúsculas. As partículas podem ser injetadas em câmaras com alta temperatura utilizando um sistema pneumático. Ao chegar na câmara as partículas entram em combustão instantânea, ainda em suspensão. O teor de umidade do combustível deve ser baixo devido o curto tempo de queima. Apesar desta exigência é um sistema de pequeno porte e de alta eficiência.

A eleição da utilização mais eficaz e rentável da energia térmica baseada na queima de resíduos e lenha, bem como a seleção do processo mais adequado são questões para se estudar caso a caso, dadas as particularidades e peculiaridades de cada indústria. Mas existem uma variedade de condições para utilização do calor oriundo pela queima da lenha e resíduos no campo industrial, sendo que os usos mais comuns estão ligados à produção de vapor em caldeiras e na cogeração de energia (FONTES, 1994).

A combustão é um fenômeno físico e químico que consiste na reação exotérmica de determinados elementos químicos com o oxigênio, liberando energia térmica. Na combustão, para ser efetiva, deve ocorrer as seguintes condições turbulência, temperatura e tempo (3T). Inicialmente na combustão ocorre a pirólise que gera vários tipos de gases, todos a partir de carbono e hidrogênio, vapor de água. No momento que estes gases disponham da correspondente temperatura de ignição, eles entram em combustão. A partir daí, dada a condição exotérmica desta reação, se transforma em sua própria fonte de calor e o fenômeno se auto-sustenta (BARRETO, 1996). O processo pode ser dividido em quatro etapas, sendo a primeira pirólise e as demais gaseificação:

- i) madeira + mais calor = desprendimento de voláteis + carbono fixo
- ii) Voláteis + temperatura = dióxido de carbono + calor
- iii) Carbono fixo + calor = monóxido de carbono + calor
- iv) Monóxido de carbono + temperatura = dióxido de carbono + calor

Outra rota tecnológica considerada para utilização da biomassa para fins energéticos, é via o processo de pirólise. Esta tecnologia permite obter as frações i) sólida – o carvão vegetal -; ii) líquida – composta por licor pirolenhoso, onde o insumo energético mais destacado é o alcatrão e iii) gasosa – representada por gases pobres.

Em parte, WALTER (1998) cita que o interesse quanto à pirólise está no fato de que, em princípio, a produção da energia poderia estar fisicamente desacoplada da produção de biomassa, já que a parte líquida da pirólise poderia ser transportada para a termoeletrica, que poderia, também em princípio, ser de maior capacidade do que as centrais com sistemas de vapor ou com gaseificação.

A pirólise rápida da biomassa e o emprego do combustível líquido em motores de combustão interna ou turbinas é uma tecnologia relativamente nova e ainda não comprovada. Os trabalhos de projeto e desenvolvimento em pirólise, ainda estão na etapa de teste em pequenas unidades (WALTER, 1998).

No caso brasileiro, as oportunidades mais reais estão no uso mais eficaz da biomassa em sistemas de cogeração industrial. Além da tradição do uso da biomassa enquanto matéria-prima e energia, existe um potencial associado à quantidade de resíduos gerados de biomassa que são, do ponto de vista energético, aproveitados de forma ineficiente (WALTER, 1998).

A gaseificação é outra utilização promissora da madeira e seus resíduos sólidos (DUMON, 1982). Atualmente, no Brasil, tem-se realizado pesquisas promissoras sobre gaseificação da madeira (NOGUEIRA, 1995a, WALTER, 1998). O projeto denominado WBP/SIGAME é o mais destacado por envolver instituições privadas nacionais e estrangeiras (NOGUEIRA, 1995b). Este projeto WBP/SIGAME na fase inicial visa demonstrar a viabilidade comercial da geração de eletricidade, a partir da biomassa florestal, através da utilização da tecnologia de gaseificação integrada a uma turbina à gás, operando em ciclo combinado. O objetivo final do projeto é a operação comercial de uma unidade de gaseificação de biomassa e alimentada com madeira e produzindo cerca de 30MW. A unidade de demonstração está sendo construída no interior da Bahia. O projeto é uma iniciativa internacional, resultado dos interesses de um grupo de empresas e de órgão do governo brasileiro; e envolve o consórcio SER - Sistema de Energia Renovável, formado pela ELETROBRÁS, CHESF e SHELL; o Ministério da Ciência e Tecnologia; e, ainda, agencias como a Global Environmental Fund - GEF, a Environment Protection Agency – EPA, Rockfeller Fundation e Winrock International (WALTER, 1998).

BRIDGWATER (1995) identifica quase quarenta diferentes iniciativas de pesquisa e desenvolvimento de sistemas de gaseificação de biomassa nos últimos 10 anos, envolvendo organizações de 15 diferentes países.

A gaseificação é um processo de conversão termoquímica realizado a altas temperaturas, envolvendo oxidação parcial dos elementos combustíveis de constituição da biomassa (WALTER, 1998; BARRETO, 1996). Segundo MARTINS (1980) e ASSUMPÇÃO (1978, 1981) a gaseificação da madeira ou do carvão é produzida nos processos de pirólise mediante o emprego de quantidades controladas de ar ou de misturas de oxigênio e vapor de água em proporções variadas.

ASSUMPÇÃO (1981) destaca que a gaseificação de madeiras e resíduos é uma alternativa energética válida, mas de caráter mais restrito. Ela tem uma conotação regional e um caráter mais de complementação que de competição à outros processos de geração de energia.

Algumas vantagens do sistemas de gaseificação-combustão sobre o sistema de combustão direta, além da maior eficiência energética (ASSUMPÇÃO, 1981) são: i) as cinzas e o carbono residual permanecem no gaseificador, diminuindo assim a emissão de partículas e ii) o combustível resultante é mais limpo e, na maioria dos casos, não há necessidade de controle de poluição.

O poder calorífico médio dos gases gerados na gaseificação varia de 1.100 a 2.600 Kcal/Nm<sup>3</sup> de gás, com uma produção média de 1.700 m<sup>3</sup> de gás por tonelada de madeira ou resíduo seco e uma eficiência de conversão térmica da ordem de 78% (CTFT, 1971; MARTINS, 1980). Segundo WALTER (1998), em função da diluição dos gases com nitrogênio, a gaseificação com injeção de ar resulta num gás de baixo poder calorífico, que é adequado para uso “in situ”, na queima direta em caldeiras ou fornos, ou na alimentação de motores de combustão interna e turbinas, mas não para ser transportado ou para ser empregado como gás de síntese. Entretanto, a gaseificação com injeção de ar é um processo mais barato e mais seguro. A gaseificação com injeção de oxigênio, por sua vez, permite a produção de gás com médio poder calorífico, situado entre 2,5 a 4,5Mcal/Nm<sup>3</sup>.

Os gases gerados a partir da madeira podem ser utilizados de formas distintas, destacando-se a queima direta e como combustíveis para motores. Quando empregada como combustíveis em motores a diesel, acoplado a um alternador, pode-se gerar energia elétrica na relação de 1kwh/1,2 kg de madeira seca (ASSUMPÇÃO, 1978 e CTFT, 1971).

WALTER (1998), num trabalho visando mostrar o estado da arte das tecnologias de alto desempenho para produção de energia a partir de biomassa, afirma que o processo de gaseificação é necessário para que a biomassa possa ser empregada na geração de eletricidade, alimentando turbinas a gás e motores de combustão interna.

A alternativa de gaseificação da biomassa é tradicionalmente explorada em unidades de pequeno porte, geralmente em regiões que têm restrições ao abastecimento elétrico via rede. A geração de unidade de maior porte, ainda não é comercial por que a gaseificação de biomassa em sistemas maiores ainda está em desenvolvimento (WALTER, 1998; NOGUEIRA, 1996a,b).

A maneira usual de classificação dos diversos tipos disponíveis de gaseificadores é feita em função do comportamento do leito da matéria a ser gaseificada. Os principais tipos de gaseificadores (WALTER, 1998; NOGUEIRA, 1996a) são: (i) leito fixo – a matéria a ser gaseificada só se move por ação da gravidade. Gaseificadores desse tipo, com fluxo ascendente ou com fluxo descendente, tem sido empregado com capacidade para geração elétrica entre 100KW e 10MW, (ii) leito fluidizado – nos equipamentos desse tipo, emprega-se um material como meio fluidizante, que arrasta consigo a biomassa, aumentando o contato desta com o elemento oxidante e, conseqüentemente, aumenta as taxas de reação. Gaseificadores desse tipo são mais adequados à conversão de uma maior quantidade de biomassa – sistemas com capacidade entre 10 e 20 toneladas de biomassa por hora já são operacionais. (iii) de leito móvel.

O Department of Energy (DOE) do Governo dos Estados Unidos define as tecnologias avançadas de produção de energia a partir da biomassa como sendo aquelas que (i) são tecnologias competitivas ante as demais opções de geração, (ii) apresentam alta eficiência de conversão, e (iii) também oferecem importantes vantagens ambientais, particularmente na redução das emissões dos gases causadores do efeito estufa (DOE citado por WALTER, 1998).

As considerações de caráter ambiental do DOE, formam a base de justificativas para os esforços de desenvolvimento de tecnologias mais eficientes de produção de energia a partir da biomassa.

Neste sentido, WALTER (1998) menciona que a produção de energia em larga escala a partir de biomassa vem sendo estudada com grande interesse em vários países do Mundo. Este interesse deve ser creditado à junção de alguns fatores (WALTER, 1998): (i) às preocupações quanto aos impactos ambientais associados às tecnologias convencionais

de produção de energia, principalmente, face a produção de emissões globais com dióxido de carbono, (ii) à existência de uma certa capacidade ociosa na atividade do setor primário, em países da Europa e dos Estados Unidos, neste caso ocorre impactos financeiros e impactos sociais, (iii) à necessidade de consumo, em finalidades produtivas, dos resíduos industriais que, de outra forma, teriam que ser tratados com custos financeiros, sociais e ambientais, (iv) a conveniência da redução de dependência de alguns países com relação aos combustíveis fósseis, que estão associado a uma visão geopolítica estratégica.

#### 2.5.3.1 Geração Térmica

A conversão direta da madeira em energia térmica é possivelmente a utilização mais antiga da energia fotossintética.

A produção de calor por intermédio da combustão da biomassa reflete um uso muito disseminado na indústria do setor florestal brasileiro. O calor utilizado na forma de vapor para fim de aquecimento remonta a Revolução Industrial, iniciada no século XVIII.

O vapor armazena grande quantidade de energia, que pode ser levada de modo simples, rápido e eficiente até os locais de consumo (TORREIRA, 1995; PINHÃO, 2000).

Para PINHÃO (2000), TORREIRA (1995), BAZZO (1995) e DINIS (1981), um sistema de vapor é constituído de três partes: i) geração de vapor, ii) distribuição de vapor e iii) consumo de vapor.

A geração de vapor é o ponto de partida do sistema, abrangendo desde a entrada de água até a saída de vapor produzido por uma ou mais caldeiras.

Para a distribuição de vapor da caldeira até os setores de consumo é necessário um sistema de tubulação mais ou menos complexo, dependendo da quantidade, posição e características dos consumidores existentes. A rede de distribuição de vapor, sob o ponto de vista econômico e de eficiência, é influenciada por fatores como o dimensionamento da tubulação, isolamento térmico, uso de acessórios como luvas, curvas e conexões, eliminação de água condensada que se forma dentro da tubulação e remoção de ar e outros gases incondensáveis (PINHÃO, 2000; BAZZO, 1995; TORREIRA, 1995).

O vapor pode ser utilizado em diversos setores da indústria na forma direta e indireta. Na forma direta, o vapor vivo entra em contato diretamente com o produto ou



sistema, sem qualquer superfície de separação. Já na forma indireta, o vapor fornece calor ao processo, através de uma superfície para troca térmica (PINHÃO, 2000).

Ao fazer uma revisão sobre o uso de madeira como fonte de energia BRITO e BARRICHELO (1982) verificaram que a maioria das caldeiras em uso nas indústrias de vários países, a base de lenha e/ou resíduos, operam na faixa de 9000 à 20000 Kg de vapor por hora com consumo médio de 4 à 5 kg daquela biomassa energética para produção de 1kg de vapor produzido.

Para OLIVER (1975) e TORREIRA (1995) a eficiência da caldeira é uma medida de como efetivamente o valor do combustível é transferido na produção de vapor. Este autor classifica dois tipos de perdas de energia em caldeiras. As perdas primárias são devido ao excesso de ar requerida na combustão, a temperatura de combustão da câmara e a umidade do combustível. Já as perdas secundárias se devem a radiação, formação de água (vapor), convecção e no calor das cinzas.

Um melhor manejo nas caldeiras, quanto a procedimentos de combustão do material ligno-celulósico, pode reduzir o uso de tais energéticos em cerca de 10% ou mais. A velocidade de alimentação das caldeiras é importante para manter uma melhor eficiência e constância na produção de vapor. As dimensões e características dos combustíveis de biomassa florestal influencia o tempo de combustão. Reduzindo as dimensões e obtendo material mais homogêneo; fazendo uma mistura mais homogênea se tem uma combustão mais completa. O teor de umidade não pode exceder a 50% para maior eficiência da combustão. Uma insuficiente proporção de ar resulta numa incompleta combustão do energético e emissão de poluição maior. Ao aumentar a proporção de ar na relação mistura ar - combustível resulta na saída de ar aquecido em grandes quantidades, havendo desperdício de calor e combustível (BALDWIN, 1984).

A produção de vapor, usando lenha e resíduos florestais como combustível, é da ordem de 950 à 1200 kg de vapor por um m<sup>3</sup> (FERREIRA, s.d.). Já TORREIRA (1995), DINIZ (1981) e FAO (1991) mencionam que 1m<sup>3</sup> de lenha, dependendo da umidade e da qualidade da madeira e fatores relacionados a queima, pode gerar de 1500 à 2500Kg de vapor.

Por sua vez, RESCH (1982), num escrito sobre locomóvel, relaciona, em termos médio, um consumo de lenha de 0,82m<sup>3</sup>/hora para um consumo de 1,14m<sup>3</sup>/hora de água e disponibilizando em torno de 1070Kg/hora de vapor; esta produção térmica pode gerar uma potência elétrica de cerca de 111Kva.

JUVILLAR (1984) menciona que para fazer uma tonelada de vapor de água são necessárias 600Mcal, onde o rendimento de combustão, à 30% de umidade em base úmida, é de 60%. Embora o poder calorífico da madeira representa cerca de 1/3 do óleo combustível; o custo do combustível madeira para fazer uma tonelada de vapor de água é a metade do custo do óleo combustível.

O rendimento ou eficiência de uma caldeira é função da quantidade de calor necessária para gerar vapor (que por sua vez depende da diferença entre a temperatura do vapor e a temperatura da água de alimentação); da quantidade de vapor gerado por parte do combustível e de seu poder calorífico (TORREIRA, 1995; BAZZO, 1995).

### 2.5.3.2 Cogeração

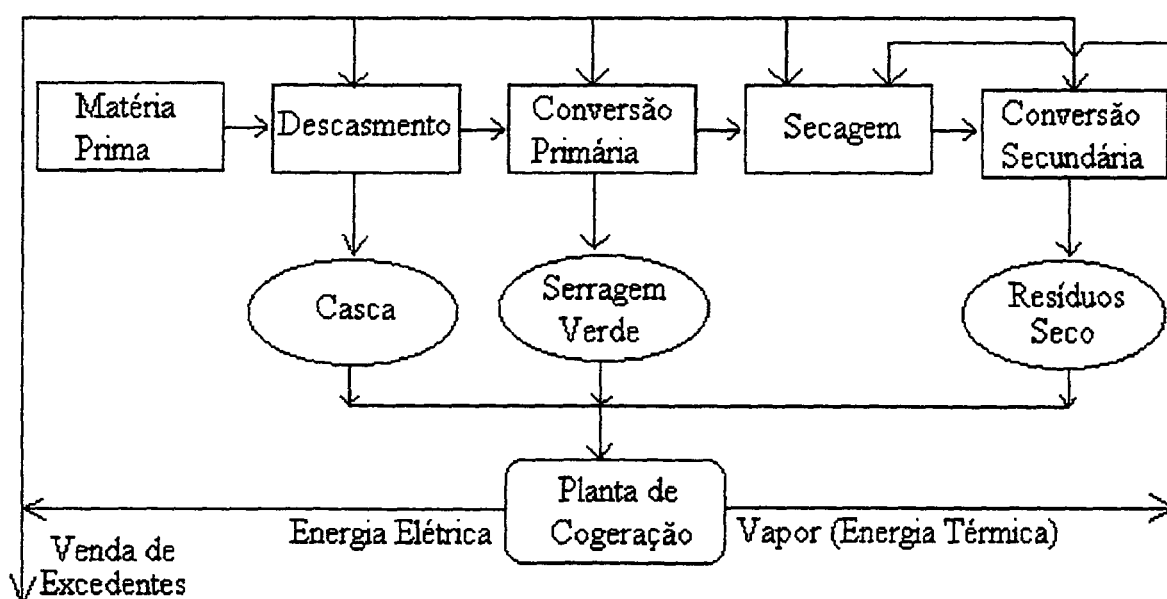
O uso de biomassa para produção de energia tem despertado o interesse de investidores, principalmente em processos de cogeração (ROSS, 1989, CENBIO, 1998). Atualmente, dentro da nova regulamentação do setor elétrico, as possibilidades de excedentes não apenas às concessionárias como também a terceiros são mais promissoras, principalmente dentro da liberdade de mercado introduzida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (COELHO, 1998).

Modernas tecnologias para o uso de biomassa energética incluem a cogeração de energia em setores como papel e celulose, açúcar e álcool e carvão vegetal de florestas plantadas (CENBIO, 1998).

O processo de cogeração corresponde a obtenção simultânea e sequenciada de energia elétrica e térmica, a partir de uma única fonte primária de energia. Este processo tem despertado um grande interesse devido a elevada eficiência possível de ser alcançada ao associar a geração de tais formas de energia em um único sistema (COELHO, 1998; PINHÃO, 2000; NOGUEIRA, 1996a, FUNG, 1982, ROSS, 1989). Os sistemas de cogeração configuram a tecnologia mais racional para a utilização de combustíveis, embora sejam viáveis apenas nos contextos onde se demandam ambas as formas de energia – a elétrica e calor; é o caso das indústrias sucro-alcooleira, celulose e papel e de madeira, que além de demandar potência elétrica e térmica, dispõem de combustíveis residuais que se integram de modo favorável ao processo de cogeração (NOGUEIRA, 1995a).

ROJAS-BELMAR (1996) e BALERIO (1996) destacam que plantas de geração termoeletricas possibilitam queimar como combustível principal os resíduos das operações florestais e industriais; permitem adequar a unidade fabril para consumo próprio de energia, como benefício agregado de valor; manter em uso uma fonte renovável de energia e dar uma solução aos problemas resíduos não aproveitáveis no processo industrial. A Figura 10 mostra um esquema visando a cogeração por uma unidade produtora de produtos florestais.

FIGURA 10. ESQUEMA BÁSICO PARA COGERAÇÃO NA INDÚSTRIA DE BASE FLORESTAL



FONTE: ROJAS-BELMAR (1996), adaptado.

O processo inicia com a geração de vapor a alta pressão, de 10 a 60 atmosfera, e temperatura de 250 e 400° C, em uma caldeira passando através de uma gerador de turbina, para a produção de energia elétrica utilizando o vapor de escape como energia térmica para a secagem industrial. Consequentemente, além de gerar eletricidade a partir de biomassa florestal, a cogeração eleva a eficiência da utilização energética para aproximadamente 75% ( Haygreen e Bowyer, 1982, citados por FONTES, 1994, FUNG, 1982).

Em um motogerador ou turbogerador, a energia potencial contida na fonte de energia, o combustível, é transformada em energia elétrica e os gases de escapamento do motor ou

da turbina, que saem a cerca de  $500^{\circ}\text{C}$ , passam pela caldeira de recuperação de calor, gerando vapor para consumo industrial (PINHÃO, 2000; BAZZO, 1995).

É importante observar que o processo de cogeração, conforme cita COELHO (1998), é uma ação de conservação de energia, uma vez que o rendimento do processo de geração de vapor é elevado a partir da produção combinada, dando-se um melhor aproveitamento ao conteúdo energético do combustível.

Além dos benefícios para o setor elétrico, também para a sociedade, o sistema de cogeração a partir da biomassa apresenta vantagens ambientais (COELHO, 1998; PINHÃO, 2000). Os benefícios ambientais da “bio-energia” já são conhecidos, em particular pelo balanço quase nulo das emissões de carbono (MACEDO, 1997), mesmo sem levar em conta as outras emissões de poluentes. A nível ilustrativo, os dados de COELHO (1998) permitem demonstrar que para cada Mwh de energia consumida, oriunda de biomassa de madeira, evita-se a emissão de 43Kg de dióxido de carbono para a atmosfera. Desta forma, além de alcançar a geração de quantidades significativas de energia, estão sendo reduzidas as emissões de carbono. Por outro lado, a utilização de biomassa como combustível para cogeração em substituição aos combustíveis fósseis, reduz a emissão de poluentes principalmente pela ausência de enxofre.

Segundo COELHO (1998), o mercado potencial de cogeração no setor industrial é formado pelos segmentos que utilizam grandes quantidades de vapor no processo. É mencionado os seguintes ramos: açúcar e álcool, alimentos e bebidas, papel e celulose, têxtil, químico e petroquímico.

Dentro do setor florestal, além do de celulose e papel, outros seguimentos tem potencial para implantar um sistema de cogeração. Uns porque geram substancial quantia de subprodutos no processo - casca, serragem, aparas, miolos e outros resíduos -, como o caso de serraria e indústria de compensado. Já outros porque demandam quantias significativas de energia, tanto térmica como elétrica, como as indústrias de painéis de madeira.

Um exemplo do emprego de cogeração de energia na indústria florestal é citado por MIRANDA (1995). Ele apresenta uma empresa com as seguintes características: i) demanda anual  $60000\text{m}^3$  de tora, ii) produção de resíduos global de 23300 tonelada/ano (sendo 25% de casca e 75% de resíduos do processo industrial), iii) a demanda de vapor, a 14bar de pressão, é 8,8tonelada/hora, a uma temperatura de  $200^{\circ}\text{C}$ ; dos quais 3 tonelada/hora é destinada diretamente para a secagem, enquanto o restante, 5,8tonelada/hora é utilizado na turbina para geração de energia elétrica.

Neste exemplo, MIRANDA (1996), menciona que a energia elétrica oriunda da cogeração é cerca de 30% mais barata que a energia advinda de termelétrica a diesel. Na produção de energia elétrica, via cogeração, o custo observado foi de 0,07dolares/Kwh usando resíduos de madeira. Foi observado que resíduos da indústria são suficientes para atender a demanda de eletricidade e energia térmica (vapor), podendo chegar a 3Mwh de energia elétrica.

## 2.6. EFICIÊNCIA DO CONSUMO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA

“O grande objetivo das organizações humanas é atender às necessidades do ser humano na sua luta pela sobrevivência na Terra”

Neste contexto, é preciso ter qualidade e produtividade.

A qualidade de um produto significa que atende perfeitamente, de forma confiável, de forma acessível, de forma segura e no tempo certo às necessidades do cliente. Assim, qualidade não é só ausência de defeitos (CAMPOS, 1992).

Aumentar a produtividade é produzir cada vez mais e/ ou melhor com cada vez menos insumos. Pode-se representar a produtividade como o quociente entre o que a empresa produz (“OUTPUT”) e o que ela consome (“INPUT”). A produtividade, ainda, pode ser visualizada como a taxa de valor agregado, ou seja, a relação valor produzido por valor consumido. A produtividade pode também ser representada pelo quociente entre faturamento e os custos e tem a grande vantagem de, além de levar em conta todos os fatores internos da empresa como taxa de consumo de materiais, taxa de consumo de energia e taxa de utilização de informações, incluir o cliente como fator decisivo de produtividade (CAMPOS, 1992).

Assim, segundo DEMING(1982) a produtividade é aumentada pela melhoria na qualidade.

A energia é um dos recursos terrenos mais essenciais, sem o calor, luz e alimento, que ela provê, a civilização humana não existiria. Neste contexto, busca-se a eficiência no uso dos recursos energéticos. A energia é um dos bens da humanidade, na atualidade, com maior consumo. Basta dizer, que o consumo foi quadruplicado entre as décadas de quarenta e noventa deste século (WORLD RESOURCES INSTITUTE, 1988).

Melhorias da eficiência no uso de energia provêm os meios mais rápidos e menos dispendiosos para mitigar muitos dos problemas associados a energia. Um aumento na eficiência é, geralmente, a “fonte” mais barata de energia. Nos Estados Unidos já foram identificadas oportunidades para elevar a eficiência energética que custa metade a um sétimo dos gastos com um novo fornecimento (MATHEWS, 1989).

A indústria tem atingido ganhos significativos na eficiência da energia . Em diversas unidades, a intensidade energética – a quantidade de energia exigida por unidade de produção industrial – caiu 30% desde 1973. Há países em que a eficiência energética na indústria é uma prioridade nacional. Diretores de energia que trabalham período integral são exigidos, por lei, em todas as companhias japonesas que consomem quantidade substancial de energia (WORLD RESOURCES INSTITUTE, 1988).

A cogeração de energia representa um dos promissores sistema de desenvolvimento para melhorar a eficiência energética na indústria. É um sistema que produz simultaneamente calor e eletricidade, ou outras formas de energia, tal como a força motriz. Exige para atingir melhor eficiência energética e com custos mais baixos que as instalações de cogeração devem ficar mais próximas às localidades nas quais o calor será usado (ROSS, 1989; CAMPELLO, 1990).

Em operação desta natureza o combustível – como a madeira e seus restos industriais – é queimado em uma caldeira afim de que o vapor seja produzido. O vapor gira um gerador de eletricidade e é então destinado para aquecimento, refrigeração ou processos industriais, ao invés de ser lançado ao ar. O sistema pode mais que duplicar a energia utilizável obtida de cada dólar investido. Uma usina produzindo apenas eletricidade possui uma eficiência de cerca de 32%; uma usina de cogeração, usando a mesma quantidade de combustível, pode aproximar –se dos 80% de eficiência (dados do World Resources Institute citados no MANUAL GLOBAL DE ECOLOGIA, 1992).

A indústria florestal representa um sistema de uso energético com significativo custo. As oportunidades para reduzir custo de energia são muitas e variadas. É preciso se aproveitar para fazer uma boa identificação do sistema e subsistemas de energia usados. O sistema de energia primário inclui o vapor ou sistema de vapor; sistema de ar comprimido e sistema elétrico. Cada sistema primário deve ser dividido em subsistema como fonte, distribuição e uso final. Na indústria de compensado, a caldeira é um exemplo de subsistema fonte com grande consumo de energia (BALDWIN, 1984).

Para LENGEL (1975) o primeiro passo para ganhar eficiência na indústria é verificar a unidade de produção de energia térmica e suas perdas. O caminho no implemento de eficiência no uso de energia deve ser por meio de um comitê regular visando implantar rotinas e operações otimizadas.

A eficiência de conversão da madeira e subprodutos florestais em energia passa também pela redução de seus conteúdos de umidade (MASON, 1975; DILLY; 1975; FAO, 1991; DUMON, 1982).

A eficiência no uso de energia elétrica está muito ligada a valores altos de fator de potência (SEIP, 1984, KEHR, 1993) e programas de conservação de energia na indústria (HELVOGT, 1975; COPEL, 1987).

A melhoria em engenharia de veículos como na forma de carrocerias, em componentes elétricos, nos motores e transmissão e no desenho de produto implica reduzir o consumo de combustível e aumentar a eficiência de conversão energética (CARVALHO e FEIJÓ, 1990; REDDY, 1984). O combustível, por si só, em função de sua qualidade, tem uma influência muito grande na eficiência energética, uma vez que ele influi na dirigibilidade, no desempenho, no consumo, na durabilidade de veículos com tarefa de transporte e, ainda, na emissão de gases para atmosfera (FALCON et al., 1990).

Por outro lado, a melhoria em parâmetros ligados a mecânica de veículo permite obter redução de consumo da ordem de 10 a 20% (DOMSCHKE, 1990; AGUIAR, 1990; REDDY, 1984; CID, 1980). A título de ilustração, UYENO (1980) menciona que o avanço na aerodinâmica dos veículos pode reduzir o consumo de combustível em 13%, enquanto que o uso adequado e a melhoria em tecnologia de pneus (GUILLEMINOT, 1980) pode significar a redução no consumo energético da ordem de 10 a 15%.

A conjugação de fatores ligado a qualidade das diversas fontes de energia utilizadas, ao processo de conversão energética empregado e a rígidos programas de conservação de energia permitem o encaminhamento para a consolidação e a otimização do uso de energia, redundando na melhoria da eficiência energética industrial.

### 3. MATERIAL E MÉTODO

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO DO ESTUDO

O trabalho foi desenvolvido na empresa E. B. Gomes, localizada na cidade de Irati no Estado do Paraná, distante 150 Km de Curitiba, devido ser uma indústria de porte médio e do ponto de vista tecnológico, representar o padrão em relação as indústrias de compensado instaladas no Brasil.

A empresa é produtora de lâminas torneadas de *Pinus* com objetivo de exportação e manufatura de chapas compensadas. Complementarmente, adquire lâminas de folhosas para formar a capa das chapas. Os produtos lâminas secas, o compensado multilaminado e sarrafeado são destinados à exportação e ao mercado nacional. Há duas unidades industriais. A laminadora que situa-se na localidade denominada Água Quente, distante 30Km da cidade de Irati, destina-se ao processamento primário, isto é, das toras em lâminas ou em sarrafos. A fábrica, entende-se pelo processamento secundário onde ocorre a obtenção dos produtos comercializáveis como: lâminas secas, compensado multilaminado e sarrafeado e situa-se na cidade de Irati – PR.

#### 3.2 LEVANTAMENTO DA ESTRUTURA INDUSTRIAL

##### 3.2.1 Instalação Física

Visando conhecer a estrutura da empresa foi realizado o levantamento dos equipamentos acionados por eletricidade; dos veículos de movimentação dos materiais como caminhões, tratores, empilhadeiras e outros. Para este levantamento considerou as especificações técnicas dadas pelos fabricantes, disponíveis nos equipamentos. Estes dados foram dispostos por setor da indústria.

Em cada equipamento foi coletado, a nível nominal, as especificações de potência dos motores em *cavalo vapor* (CV), tensão de corrente em *volts*, rotação em *rpm* e intensidade de corrente em *Ampère*.



A potência mecânica total dos equipamentos instalados e veículos utilizados na industrialização do compensado obtidas em cavalo vapor foram convertidas em eletricidade (Kw) e potência calorífica (Kcal).

### 3.2.2 Coleta de Dados Relativo a Produção Física

As informações de consumo de matéria-prima, como volume de toras e insumo e da produção de lâminas e compensados, necessárias para a realização do trabalho foram coletadas diretamente na indústria com base em seus registros de produção. A série histórica cobriu o período de agosto/95 a setembro/97, tendo sido coletado para cada mês o consumo de toras, de cola; a produção física de rolo-resto; lâminas; compensado multilaminado e sarrafeado e lâminas adquiridas de terceiros.

De posse destes valores de série histórica, obteve-se os resultados médios/mês, para cada item de produção, que foram relacionados com as formas de energia empregadas na indústria.

## 3.3 QUANTIFICAÇÃO DOS ENERGÉTICOS NA INDÚSTRIA

### 3.3.1 Descrição do Uso de Energias e Amostragem

Levantou-se o fluxo de energias – a térmica, a elétrica, a química e a humana – consumidas na conversão primária e secundária da industrialização de compensado. Foram tomadas, assim, as energias utilizadas desde a movimentação de toras no pátio da laminação; na laminação; movimentação de materiais na laminação; no transporte de lâminas (entre a fazenda Água Quente e a Fábrica de compensado); no funcionamento de caldeiras (uma na laminadora e outra na fábrica); na secagem de lâminas e sarrafos; na preparação, montagem e prensagem das chapas compensadas; no acabamento das chapas; na movimentação de materiais no interior da fábrica e no pátio, incluindo aqui o carregamento dos pacotes de produtos acabados; no transporte rodoviário deste a indústria até o principal centro consumidor/distribuidor do País – cidade de São Paulo e porto da cidade de Paranaguá; na administração (escritório) e iluminação. Em resumo, foi quantificado o consumo dos energéticos a partir do manuseio da tora no pátio até os produtos finais colocados no centro de distribuição do País e nos portos para exportação.

O consumo das fontes de energia foram obtidos mensalmente. Partindo destes valores, obteve-se o consumo médio mensal para cada forma de energia visando obter relação com a produção industrial. Os resultados finais de energia foram expressos em consumo de energia por unidade de produtos obtidos.

### 3.3.2 Energia Térmica

#### 3.3.2.1 Obtenção da Massa de Lenha e Resíduos Queimados nas Caldeiras

Para obtenção da massa de lenha e resíduos utilizados na caldeira adotou-se a seguinte metodologia:

a) Na laminadora foi realizada cubagem das cargas de lenha em rolete no próprio caminhão de transporte. Para tal considerou-se o comprimento e a largura do caminhão e a média de cinco medidas tomadas na altura da carga, obtendo-se, assim, o volume da biomassa. A obtenção da massa consumida de biomassa se deu considerando a Equação 1:

$$MBL = VL * ME / FC \quad (\text{Equação 1})$$

MBL= massa de biomassa na laminação na umidade atual em Kg/mês;

VL= volume de biomassa na laminação lenha em st/mês (mês de agosto/97);

ME= massa específica, cujo valor foi oriundo da pesagem das cargas de lenha utilizadas na caldeira da Fábrica, expressa em Kg/m<sup>3</sup>;

FC= fator de conversão de volume (1,4 st/m<sup>3</sup>)

b) Na fábrica de compensado, o material energético consumido foi obtido a sua massa, com umidade de uso atual, através de pesagem direta. As cargas em caminhão foram pesadas em balança de estrada, além da cubagem direta na carroceria do veículo visando estabelecer a relação massa por volume de lenha e resíduos. Esta mesma relação foi aplicada no cálculo da massa de biomassa consumida diariamente na caldeira da laminadora. Assim, estimou-se a massa consumida mensalmente de biomassa demandado na caldeira da fábrica, considerando-se a Equação 2:

$$MBF = MRF_1 + MRF_2 + \dots + MRF_{n-1} + MRF_n \quad (\text{Equação 2})$$

MBF = massa de biomassa na fábrica na unidade de consumo em Kg/mês;

MRF = massa de resíduo na fábrica em Kg/mês;

1, 2, ..., n-1, n = tipos de resíduos queimados na caldeira da fábrica em Kg/mês.

### 3.3.2.2 Determinação do teor de Umidade da Biomassa

Foram coletadas amostras dos tipos de biomassa utilizadas como combustível e determinada a umidade atual, com base em norma ABNT, utilizando-se da Equação 3:

$$U_{BS} = [(PU - PS)/PS] * 100 \quad (\text{Equação 3})$$

$U_{BS}$  = umidade base seca em %

$PU$  = peso úmido de biomassa em Kg

$PS$  = peso seco de biomassa em Kg

### 3.3.2.3 Determinação da Quantidade de Energia Utilizada

Para fins de cálculo da quantidade de energia disponibilizada pela biomassa queimada na caldeira, considerou-se um valor fixo de poder calorífico superior para biomassa seca (0% de umidade) em 4600Kcal/Kg (BRITO et al., 1983; JANCZAK, 1981; CARVALHO, s. d.; JUVILLAR, s.d.; DOAT, 1977; RESCH, 1982; CORDER, 1975). O ajuste do poder calorífico para o teor de umidade do material foi feito utilizando a equação apresentada por KOLLMAN (1968), qual seja:

$$PCA = [(PCI - 6 U_{BS}) / (100 + U_{BS})] * 100 \quad (\text{Equação 4})$$

$PCA$  = Poder calorífico líquido na umidade atual em Kcal/Kg

$PCI$  = Poder calorífico inferior em Kcal/Kg

$U_{BS}$  = conteúdo de umidade base seca em %.

Finalmente para obter-se a quantidade de energia térmica total por mês e por tipo de biomassa adotou-se a seguinte equação geral 5:

$$ET = PU * PCA * 10^{-3} \quad (\text{Equação 5})$$

$ET$  = Energia térmica de biomassa para cada recurso florestal em Mcal/mês;

$PU$  = Peso úmido de biomassa em Kg/mês;

$PCA$  = Poder calorífico na umidade atual do material em Kcal/Kg.

O consumo de energia térmica por equipamento foi calculado com base na seguinte equação geral:

$$ET_e = QV * CLV * 10^{-3} * H * D \quad (\text{Equação 6})$$

$ET_e$  = energia térmica consumida por equipamento em Mcal/mês;

$QV$  = quantidade de vapor consumido em Kg de vapor/hora;

$CLV$  = calor latente de condensação à pressão de trabalho;

H = número de horas trabalhadas durante o dia em horas/dia;

D = quantidade de dias trabalhados no mês, dias/mês;

O cálculo da energia térmica global se deu pelo somatório do consumo realizado em cada equipamento.

### 3.3.3 Energia Elétrica

A determinação do consumo de energia elétrica se fez em dois níveis, a saber:

a) O consumo geral de energia elétrica global no processamento industrial foi averiguado com base na fatura de energia emitida pela Concessionária do Sistema Elétrico no Paraná – a COPEL. Elaborou-se uma série de consumo mensal relativo ao período agosto/95 à setembro/97. Para tal, utilizou-se das faturas mensais de energia referente as unidades de Laminação, da fábrica e da Administração (Escritório). O consumo obtido diretamente em Kwh por mês foi transformado em megacalorias (Mcal/mês). Foi obtido, ainda, a potência consumida (Kw/mês) e o fator de potência.

b) Visando a necessidade de conhecer o perfil do consumo efetivo de energia, levou-se em consideração os diversos setores do processo de industrialização do compensado e que ao mesmo tempo contemplasse o ciclo produtivo primário e secundário; bem como o consumo energético dos grandes equipamentos. Para tal, foi medido a intensidade de corrente de todos os equipamentos, utilizando-se um amperímetro tipo alicate e determinado o tempo de funcionamento do equipamento em número de horas/mês. Foram coletadas leituras com o equipamento somente ligado e trabalhando, distintamente. O número de repetições foi variável em função da importância, da oscilação no uso da energia e do consumo do equipamento. As medições foram tomadas em horários e dias distintos compreendidos entre os meses de junho e agosto de 1997.

Especificamente para os tornos, além das leituras acima, foi tomado o tempo necessário para laminar a tora, considerando o ciclo de apanhar a tora até soltar o rolo-resto, tempo de preparação da tora no torno (“descascamento” ou arredondamento), e o tempo de laminação propriamente dito.

O consumo de energia elétrica por equipamento foi obtido pela seguinte equação:

$$EE_e = V * A * \sqrt{3} * FP * T * FC * 10^{-3} \quad (\text{Equação 7})$$

$EE_e$  = energia elétrica consumida no equipamento em Mcal/mês;

V = tensão de corrente medida em volts;

A = intensidade de corrente média medida em Ampère;

$\sqrt{3}$  = por se tratar de corrente elétrica trifásica, conforme mencionado por SEIP (1984);

STOUT (1974); COTRIM e BITTENCOURT (1982); KEHR (1993);

FP = fator de potência médio com base nas faturas mensais fornecida pela COPEL;

T = tempo de funcionamento em horas/mês.

FC = fator de conversão de energia elétrica para calorífica (860Kcal/Kwh)

### 3.3.4 Energia Química

O consumo geral de energia química, compreendendo o consumo de óleo Diesel, gasolina, gás tipo GLP e álcool etílico hidratado, foi determinada utilizando-se das notas fiscais de compra mensais formando uma série histórica de 26 meses compreendidos entre agosto/95 à setembro/97. Considerou-se o consumo, isoladamente, na Laminação, na Fábrica e na Administração.

As quantificações dos combustíveis mensais em unidades originais foram transformados na unidade energética, pela seguinte equação geral:

$$EQ_i = QC_i * PC_i * ME_i * 10^{-3} \quad (\text{Equação 8})$$

$EQ_i$  = Energia química média consumida de dado combustível em Mcal/mês;

QC = quantidade média de combustível em litros/mês;

PC = Poder calorífico do combustível conforme Tabela 23;

ME = Massa específica do combustível conforme Tabela 23.

TABELA 23. PODER CALORÍFICO E MASSA ESPECÍFICA DOS COMBUSTÍVEIS

Combustível	Poder Calorífico Massa Específica		Fonte
	(Kcal/Kg)	(Kg/Litro)	
Diesel	10750	0,852	MME/BEN;DNC;PETROBRÁS
Gasolina	11220	0,742	MME/BEN;DNC;PETROBRÁS
Álcool	6650	0,809	MME/BEN;DNC;SAE/PR
Gás tipo GLP	11750	0,552	MME/BEN;DNC;PETROBRÁS

FONTE: MME = Ministério das Minas e Energia; BEN = Balanço Energético Nacional; DNC = Departamento Nacional de Combustível; SAE/PR = Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República.

O consumo de combustíveis por setor foi estimado levando-se em consideração o consumo de cada veículo e o tempo de trabalho no setor. As informações sobre o quanto consome cada veículo foram obtidas com base nos dados da empresa e, em alguns casos, junto ao fabricante.

### 3.3.5 Energia Humana

O consumo geral de energia despendida na realização de trabalho dos funcionários diretamente ligados as operações de manufatura de compensado foi estimado com base no número de trabalhadores vinculados a atividade industrial do compensado, considerando o número de dias trabalhados mensalmente e o consumo total de energia diária/ "per capita".

Foi levantado o número total de trabalhadores na atividade industrial, bem como sua distribuição por parte dos setores específicos da indústria.

O valor "per capita" diário de energia na atividade dos operadores foi considerado de 4000 calorias, considerando 8 horas de jornada de trabalho mais as horas de repouso. Este valor reflete recomendações da FAO (1990) e da ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO (1968) e os resultados de estudos de SEIXAS, 1991; Grandjean (1982) citado por FAO (1990); OLIVEIRA E SEIXAS (1985).

A estimativa de consumo de energia humana foi realizada com base na seguinte equação:

$$EH_t = ED * DT * NF * 10^{-6} \quad (\text{Equação 9})$$

$EH_t$  = Energia humana total correspondente ao trabalho mecânica despendido por parte dos trabalhadores vinculados a atividade industrial em Mcal/mês;

$ED$  = Energia média demandada por um trabalhador num dia de trabalho base na ingestão de alimentos diário, considerada igual a 3800 calorias/dia.

$DT$  = Dias trabalhos no mês;

$NF$  = Número de funcionários nas atividades industriais.

A estimativa de consumo de energia humana por setores foi realizada com base na equação 9:

$$EH_s = ED * DT * NF * 10^{-6} \quad (\text{Equação 10})$$

$EH_s$  = Energia humana por setor da indústria, em Mcal/mês;

$ED$  = Energia média demandada por um trabalhador, considerada igual a 4000 calorias/dia;

DT = Dias trabalhos no mês;

NF = Número de funcionários em atividades por setor.

### 3.3.6 Quantificação dos Energéticos por Fase da Produção

A fase de conversão primária compreende a transformação da tora em lâminas e em sarrafos. Para obtenção mensal dos quantitativos energéticos nesta fase foram considerados os equipamentos consumidores de vapor – energia térmica -; os equipamentos acionados por consumo de energia elétrica; os veículos de transporte e movimentação de materiais movidos a combustíveis hidrocarbonetos - energia química -; a energia humana demandada com base na quantificação dos trabalhadores envolvidos na produção por cada fase de conversão.

A fase de conversão secundária na indústria de compensado compreende a formação das chapas a partir lâminas e sarrafos. A quantificação mensal dos energéticos se deu de maneira semelhante à primeira fase de conversão.

## 3.4 CÁLCULO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA INDÚSTRIA E SUA QUANTIFICAÇÃO ENERGÉTICA

Para quantificar os resíduos gerados nas fases de industrialização do compensado, utilizou-se informações e dados disponíveis na empresa. A base de dados foi a série histórica de produção de julho/75 à setembro/97.

### 3.4.1 Fase de Conversão Primária

Os resíduos produzidos na fase de conversão primária foram classificados em dois tipos: i) cascas e ii) resíduos da laminação, formados por rolo-resto não aproveitado para sarrafos, serragem e lâminas descartadas.

Para determinar o volume de casca, considerou-se um índice de 14% do volume total de toras. Este índice expressa a quantidade média de casca em relação ao volume de toras de *Pinus*, conforme citação de (PIERRE e SILVA, 2000; BETHEL, 1982; MOSLEMI, 1982; CORDER, 1975; OLIVER, 1975; BERTOLANI, 1980; ELLIS, 1975; FREITAS, 1980;

COUTO e BRITO, 1980 e YONEZAWA, 1980). O volume de casca (VC) foi calculado com base na equação:

$$VC = V_t * 0,14 \quad (\text{Equação 11})$$

A estimativa dos resíduos da indústria gerados no processamento primário foi feita com base na seguinte equação:

$$VR_L = V_t - V_L + (V_{RL} - V_{RL} * 0,25) \quad (\text{Equação 12})$$

$VR_L$  = Volume de resíduos da laminação gerados na fase de conversão primária ( $m^3/mês$ )

$V_t$  = Volume total de toras utilizadas na laminação ( $m^3/mês$ )

$V_L$  = Volume de lâminas produzidos ( $m^3/mês$ )

$V_{RL}$  = Volume rolo resto gerado na laminação (em  $m^3/mês$ )

$V_M * 0,25$  = Volume de rolo-resto destinado para produção de sarrafos, em  $m^3/mês$ .

O volume total de resíduos obtidos na fase de conversão de primária ( $VR_p$ ) representou a soma dos valores obtidos nas Equações 11 e 12.

Finalmente para obter-se a quantidade de energia gerada na fase de conversão primária adotou-se a seguinte equação geral:

$$ER_p = VR_p * ME * PC * 10^{-3} \quad (\text{Equação 13})$$

$ER_p$  = Estimativa de energia gerada por resíduos fase primária (Mcal/mês)

$VR_p$  = Volume de resíduos gerados na fase de conversão primária ( $m^3/mês$ )

$ME$  = Massa específica média ponderada pelo volume dos resíduos da fase ( $Kg/m^3$ )

$PC$  = Poder calorífico seco (4600Kcal/Kg).

### 3.4.2 Fase de Conversão Secundária

Os resíduos gerados na fase de conversão secundária são representados por lâminas não aproveitáveis, aparas produzidas no esquadrejamento do compensado, serragem e pó da lixadeira. O cálculo foi feito através da equação 14:

$$VR_s = IR * VTC \quad (\text{Equação 14})$$

$VR_s$  = Volume de resíduos gerado na fase de conversão secundária ( $m^3/mês$ )

$VTC$  = Volume total de compensados produzido na empresa (em  $m^3/mês$ )

$IR$  = Índice de resíduos da fábrica, determinado no decorrer do trabalho, igual a 10,5%.



Para expressar a quantidade de resíduos gerados na forma de energia na fase de conversão secundária utilizou-se a seguinte equação:

$$ER_s = VR_s * ME * PC * 10^{-3} \quad (\text{Equação 15})$$

$ER_s$  = Estimativa da energia gerada por resíduos na fase secundária (Mcal/mês)

$VR_s$  = Volume total de resíduos gerados na fase secundária (m<sup>3</sup>/mês)

$ME$  = Massa específica média ponderada pelo volume dos resíduos da fase (Kg/m<sup>3</sup>)

$PC$  = Poder calorífico seco (Kcal/kg)

O potencial de geração global dos resíduos da indústria foi obtido pelo somatório dos valores calculados nas Equações 13 e 15.

### 3.5 DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A eficiência energética foi avaliada considerando o consumo atual e o consumo otimizado de energia. Esta avaliação de eficiência energética foi realizada nas três principais formas de energia utilizadas: energia térmica, elétrica e química.

Para avaliação da eficiência de energia térmica empregou-se os níveis de balanço energético: o balanço atual que relacionou o consumo de energia atual e as quantidades de resíduos para energia atual; o balanço melhorado que considerou o consumo de energia otimizado e as quantidades de resíduos para energia atual e; o balanço otimizado que partiu do consumo otimizado de energia e o uso dos resíduos energéticos otimizados.

Para prognose da eficiência da energia térmica, utilizou-se alguns parâmetros como i) conteúdo de umidade da biomassa utilizada na caldeira da laminação – a média considerada na laminação foi de 15% base seca, contrastada com o maior teor obtido na unidade; ii) teor de umidade dos resíduos utilizados na caldeira da fábrica – considerou-se o valor médio de 15% base seca, contrastado com a média ponderada obtida na fábrica; iii) eficiência de funcionamento das caldeiras – considerou-se um ganho médio de 15% devido um melhor manejo e logística e melhor controle no processo industrial, conforme citação de BALDWIN (1984)

O aumento da eficiência na utilização da energia elétrica, baseou-se nos seguintes parâmetros: i) correção do fator de potência - este foi considerado como sendo de 92% no consumo otimizado, com base na Portaria DNAE número 1569/93; este fator de potência foi contrastado com os encontrados nas contas mensais emitidas pela COPEL; ii) tarifação e manutenção- foi considerado o uso da tarifação sem a ultrapassagem do limite no importe de demanda em relação a demanda de energia contratada. Para tanto, considerou uma análise das contas de energia elétrica.

Para acrescentar maior eficiência no uso de energia química, estimou-se em ganhos na melhoria do *lay out* das unidades industriais; melhores condições de logística e veículos mais modernos com melhor manutenção e mais econômicos quanto ao uso de combustível. Para tanto, considerou-se um valor de ganho global médio de 15%, com base em índices de consumo dos veículos. Este índice de ganho de eficiência empregado foi definido com base nos trabalhos de REDDY (1984), UYENO (1980), VENTURA, (1990), FALCON et al. (1990), JARDIM (1990), DOMSCHKE (1990) e AGUIAR (1990) que mencionam a redução de consumo de energia na faixa de 10 a 25%, quando se alia a melhoria na qualidade de combustível e em engenharia de veículos e sua manutenção técnica adequada.

Para a energia humana não foi proposta melhoria na eficiência, pois acreditou-se que o seu consumo, quando comparado as outras formas de energia, é muito pequeno.

### 3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA E TESTE DE MODELOS DE REGRESSÃO

#### 3.6.1 Estimativa do consumo de energia por tipo na produção de lâminas verdes, na secagem de lâminas e na fábrica de compensado

Foram utilizados modelos de regressão para estimar o consumo de energia em função da produção de lâminas, lâminas secas e produção de compensado na indústria.

A demanda energética através das formas de energia elétrica, térmica e química foram as variáveis dependentes. Os valores de produção física dos produtos lâminas verde, lâminas seca e compensado foram as variáveis independentes dos modelos.

Na modelagem da variável resposta  $Y_i$  (consumo de energia) em função do fator  $X_i$  (covariável produção), avaliou-se dez modelos de regressão como relacionados a seguir:

- a) Modelo Linear:  $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \xi$   
 $Y_i = \beta X_i + \xi$
- b) Modelo Exponencial:  $Y_i = \beta_0 + \beta_1 e^{-\beta_2 X_i} + \xi$   
 $Y_i = \beta_0 * e^{-\beta_1 / X_i} + \xi$
- c) Modelo Multiplicativo:  $Y_i = \beta_0 X_i^{\beta_1} + \xi$
- d) Modelo polinomial de 2º grau:  $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i^2 + \xi$   
 $Y_i = \beta X_i^2 + \xi$   
 $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_i^2 + \xi$   
 $Y_i = \beta_1 x + \beta_2 X_i^2 + \xi$
- e) Modelo logarítmico:  $Y_i = \beta_0 + \beta_1 \ln X_i + \xi$

onde  $\beta_0$  é a constante;  $\beta_1$  e  $\beta_2$  são os coeficientes da regressão,  $\xi$  é o termo estocástico do modelo e suposto com distribuição Gaussiana com média zero e variância  $\sigma^2$ ,  $\xi \sim N(0, \xi^2)$ . A suposição de Gaussianidade para os resíduos ( $\xi$ ) foi verificada pelo teste de KOLMOGOROV - SMIRNOV e aceita. A independência dos resíduos e a homogeneidade de variância foram verificadas graficamente e aceitos.

Todos os modelos tiveram os parâmetros estimados pelo método dos mínimos quadrados e a qualidade do ajuste foi avaliada com base no coeficiente de determinação corrigido ( $R^2$ ); erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ) e erro padrão da estimativa relativo à média estimada ( $S_{yx}\%$ ).

O objetivo de testar os modelos de regressão foi selecionar um ou mais dos melhores modelos de regressão que possibilitem estimar a demanda energética em relação a produção industrial, com o menor erro possível.

### 3.6.2 Estimativa do Consumo de Energia Global e por Tipo em Relação a Produção de Compensado

Utilizou-se de equações de modelagem apresentadas no item 3.6.1 para verificar a relação entre o consumo de energia global (e por tipo) por unidade de volume ( $m^3$ ) de compensado em relação a produção mensal de compensado, visando medir a economia de energia por produção, a medida que esta é aumentada.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ESTRUTURA INDUSTRIAL

A Figura 11 apresenta o fluxo do processo produtivo encontrado na fabricação do compensado na indústria da empresa E. B. Gomes, localizada em Irati no Estado do Paraná, bem como ilustra a geração de resíduos e a inserção e identificação das fontes energéticas demandadas no decorrer do processo produtivo.

Como mencionado, a indústria analisada é composta de duas unidades produtivas distintas: a) a laminadora, responsável pela conversão primária das toras em lâminas e sarrafos, localizada em Água Quente (à 30Km da sede do município) e b) a fábrica de compensado, onde ocorre a conversão secundária, transformando as lâminas e sarrafos em compensado multilaminado e compensado sarrafeado.

A indústria utiliza as seguintes fontes de energia: a) energia térmica produzida em duas caldeiras através da conversão da biomassa, destinada ao fornecimento de vapor ao processo produtivo; b) energia elétrica – fornecida através da empresa concessionária do sistema elétrico no Paraná, a COPEL –, usada diretamente para acionamento de equipamentos elétricos e, ainda, na iluminação das unidades fabris e na administração; c) energia química, representada pelo consumo de derivados do petróleo (óleo diesel, gasolina e gás liquefeito de petróleo (GLP)) e o álcool etílico hidratado, destinados a movimentação dos veículos relacionados ao transporte de material; d) energia humana, caracterizada pelo trabalho humano dedicado às operações industriais.

As três primeiras fontes de energia utilizadas na produção de compensado deste trabalho, a energia térmica, a elétrica e química, também foram registradas por PINGREY (1975), ao descrever o mesmo processo produtivo de compensado nos Estados Unidos. Este autor não considerou a energia humana.

A Tabela 24 mostra a potência instalada dos equipamentos por setor e fase de conversão da indústria de compensado. As fases de conversão da indústria de compensado consideradas neste estudo foram: a primária referente a laminação de toras e a secundária sobre a formação da chapa na fábrica de compensado. Estas fases são conforme mencionados por KEINERT JR. (1980), MARRA (1964) e ALABAMAS FOREST INDUSTRIES (1990).

FIGURA 11. FLUXO DO PROCESSO PRODUTIVO E DO USO DE ENERGIA

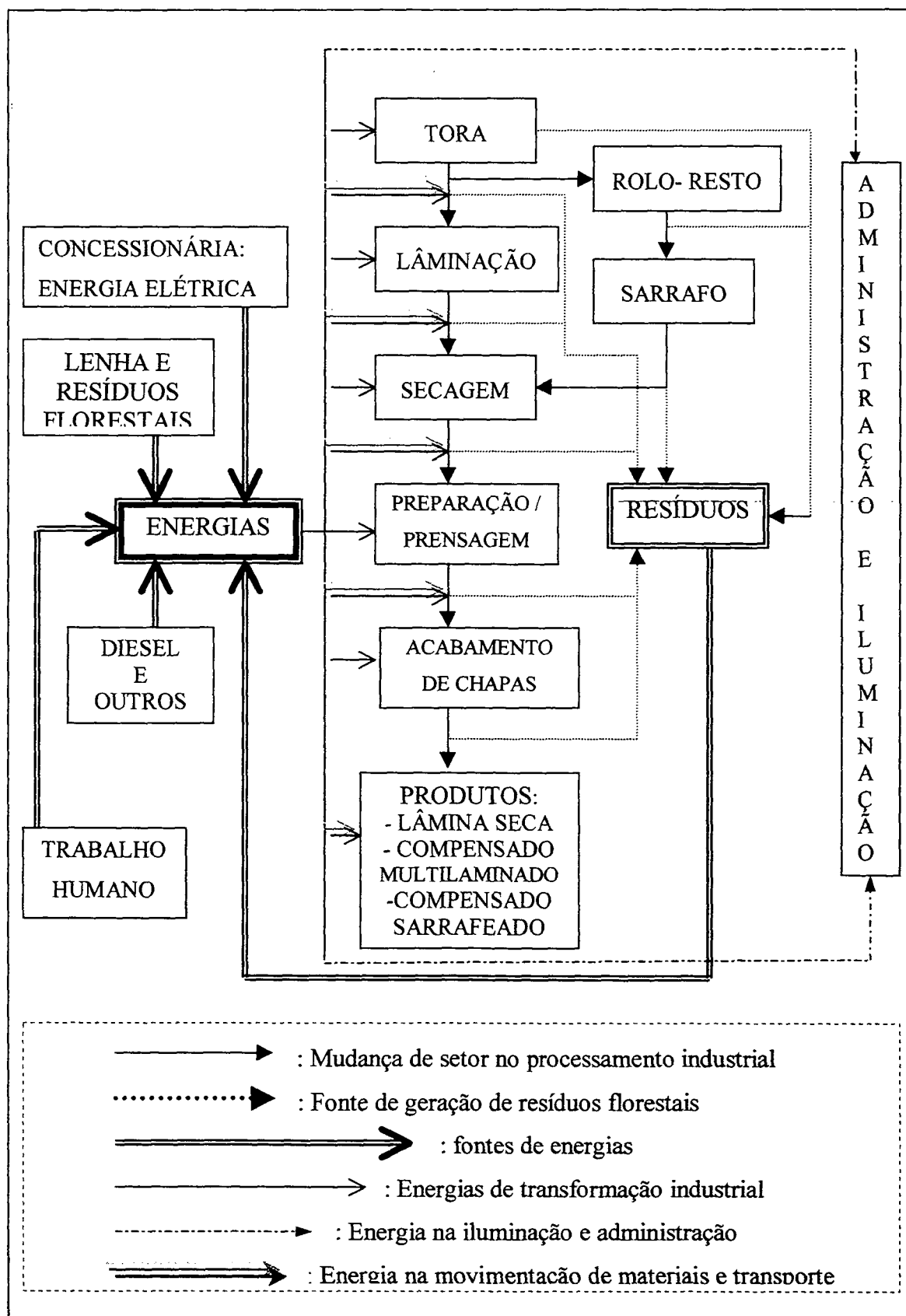


TABELA 24. POTÊNCIA INSTALADA POR SETOR

Setor	Fase de Conversão	Equipamentos		Potência <sup>1</sup>		Localização
		Especificação	Unidade	(Kw)	(%)	
Laminação	Primária	Tanque cozimento	8	142,05	9,7	Laminadora
		Torno	3			
		Correia transport.	1			
		Talha	5			
		Afiador de lâmina	1			
		Compressor ar	3			
		Enrolador lâmina	2			
		Guilhotina	2			
Geração Vapor	Primária / Secundária	Caldeira	2	47,84	3,2	Laminadora/ Fábrica
		Exaustor	1			
Secagem	Secundária	Secadores	2	250,24	17,0	Laminadora/ Fábrica
		Estufa	2			
Preparação / Montagem / Prensagem	Secundária	Guilhotina	1	76,97	5,2	Fábrica
		Juntadeira lâmina	2			
		Passadeira cola	2			
		Batedeira cola	2			
		Prensa	2			
Acabamento	Secundária	Esquadrejadeira	1	146,46	9,9	Fábrica
		Lixadeira	1			
		Exaustor	2			
		Compressor	1			
Sarrafeado	Secundária	Serra-fita	3	149,78	10,2	Laminadora/ Fábrica
		Juntadeira sarrafo	1			
		Plaina	2			
		Destopadeira	3			
		Exaustor	1			
Movimentação de Materiais	Primária / Secundária	Empilhadeira	4	660,93	44,8	Laminadora/ Fábrica
		Trator comum	1			
		Trator esteira	1			
		Pá carregadeira	1			
		caminhão	2			
Administração /Iluminação	Primária / Secundária	Veículos pequenos	3	-	-	Cidade de Irati-PR
		lâmpadas diversas	97			
Total da indústria				1474,00	100,0	

<sup>1</sup>Considerou um cavalo vapor igual a 0,736Kw

A proposta de divisão da indústria de compensado apresentada nos setores de laminação, de geração de vapor, secagem, preparação e montagem, prensagem das chapas e acabamento foi baseada em sugestões mencionadas pela ITTO (1991) e no trabalho de DELESPINASSE (1995). Para o presente trabalho, foi acrescentado o setor de movimentação

de materiais - que engloba manuseio e transporte de toras no pátio da unidade de laminação, bem como carregamento de materiais junto a fábrica de compensado e; ainda, o de administração (ou escritório).

Para potência nominal na indústria que corresponde a potência elétrica relativa aos equipamentos estacionários elétricos e a potência mecânica dos veículos de transporte de materiais, foi encontrado um valor total de 1474 Kw. Esta potência é compatível em valores para a indústria de compensado segundo BROWN e BETHEL (1965).

Das formas de energia utilizadas pela indústria, a energia térmica é a única oriunda de geração própria, utilizando-se de duas caldeiras de vapor (ver especificações na Tabela 25). As caldeiras existentes são classificadas como de pequeno porte (menor que 20000Kg/h) conforme consideram TESCH (1982), RESCH (1982), BRITO e BARRICHELLO (1982). Quanto a forma de troca térmica as caldeiras da indústria são consideradas do tipo flamotubulares ou fogotubulares (TORREIRA, 1995; CRUZ E NOGARA, 1997; MITRE, 1982; TUSET e DURAN, 1979; OLIVER, 1975 e DINIZ, 1981).

TABELA 25. ESPECIFICAÇÕES DAS CALDEIRAS INSTALADAS NA INDÚSTRIA

ITEM	CALDEIRA NA LAMINAÇÃO	CALDEIRA NA FÁBRICA
Nome do fabricante	Mernak	Bremer
Ano de fabricação	1959	1994
Capacidade calorífica da caldeira(CC)	817Mcal/hora	4160Mcal/hora
Pressão máxima trabalho permitida(PMTP)	10Kgf/cm <sup>2</sup>	12Kgf/cm <sup>2</sup>
Pressão de prova(PP)	18Kgf/cm <sup>2</sup>	18Kgf/cm <sup>2</sup>
Capacidade de produção de vapor(CPV)	1276Kg/hora	6500kg/hora
Superfície de vaporização(SV)	58m <sup>2</sup>	296m <sup>2</sup>
Tipo Construção	Fogotubular	Fogotubular

Quando da realização dos levantamentos para este estudo a caldeira instalada na laminadora utiliza como fonte de energia exclusivamente roletes de *Pinus*. A caldeira situada na fábrica utiliza como fonte de energia os resíduos da indústria, compreendendo resíduos de lâminas verdes provenientes da laminadora; as aparas de lâminas e de

compensados (“refil”) e pó da esquadrejadeira. Para atender a demanda a empresa adquiriu ainda costaneira no mercado local.

A necessidade de compra de resíduos no mercado indica má qualidade do combustível e baixa eficiência na produção de vapor, especialmente considerando o fato que a produção de resíduos é elevada. Em princípio os resíduos gerados deveriam ser suficientes (AROLA, 1976; OLIVER, 1975; ELLIS, 1982).

## 4.2 PRODUÇÃO INDUSTRIAL

### 4.2.1 Matéria-Prima e Produção

A espécie utilizada como matéria-prima para produção de lâminas é o *Pinus spp.* A demanda de lâminas na fábrica é complementada pela aquisição de lâminas de terceiros. As lâminas são do tipo torneadas, conforme classifica KEIRNERT JR. (1994), obtidas com espessura variável, a partir do “desenrolamento” das toras utilizando-se três tornos laminadores.

O compensado é obtido a partir de lâminas de produção própria, complementada por outras adquiridas de terceiros, tanto de *Pinus* quanto de madeira tropical.

A Tabela 26 apresenta o consumo, a produção e os rendimentos médios obtidos na laminadora considerando um período de 26 meses. O rendimento médio em produção de lâminas foi 45%. Esta porcentagem é semelhante a encontrada por ANDRADE (1992) e OLIVER (1975) trabalhando com condições similares com espécie de *Pinus*. A partir da transformação são obtidos 15% de rolos-restos gerais dos quais 25% (o equivalente a 4% em relação ao volume de toras) são utilizados para produção de sarrafos na indústria.

Na fábrica, onde ocorre a fase de conversão secundária da indústria, obtém-se como produtos: a) o compensado multilaminado (principal produto da indústria no período de realização da pesquisa); b) o compensado sarrafeado e c) lâminas secas de *Pinus* destinadas à exportação. Dados de consumo de matéria-prima e produção são apresentados na Tabela 27. As exportações de lâminas no período foram pequenas e limitadas aos últimos meses da série histórica analisada.



TABELA 26. CONSUMO DE MATÉRIA-PRIMA, PRODUÇÃO E RENDIMENTO MÉDIOS DA LAMINADORA

DISCRIMINAÇÃO	RESULTADOS (m <sup>3</sup> /mês)				RENDIMENTO (%)
	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo	
Matéria-prima: Toras	2172,3	642,4	3642,3	1255,9	100
Produtos: a) Laminas verdes	977,5	286,7	1639,0	565,0	45
b) Rolo-resto p/ sarrafos	81,5	24,1	136,6	47,1	4
c) Rolo-resto total	325,8	96,6	546,5	188,4	15

TABELA 27. CONSUMO DE MATÉRIA-PRIMA E PRODUÇÃO MÉDIA DA FÁBRICA DE COMPENSADO

DISCRIMINAÇÃO	RESULTADOS (m <sup>3</sup> /mês)				N <sup>o</sup> de meses
	Média	Desvio padrão	Máximo	Mínimo	
Matéria-prima: a) Cola (Kg/m <sup>3</sup> )	55,2	23,8	104,9	18,5	25
b) Lâminas próprias	977,5	286,3	1639,0	565,0	26
c) Lâminas de terceiros secas	686,2	173,1	1015,5	142,1	22
Produtos: a) Laminas para exportação	184,7	154,0	359,7	69,7	3
b) Compensado sarrafeado	73,3	25,9	140,0	34,8	26
c) Compensado multilaminado	1092,1	404,9	1772,1	412,0	26
Total de compensado	1165,4	494,5	1844,9	494,5	26

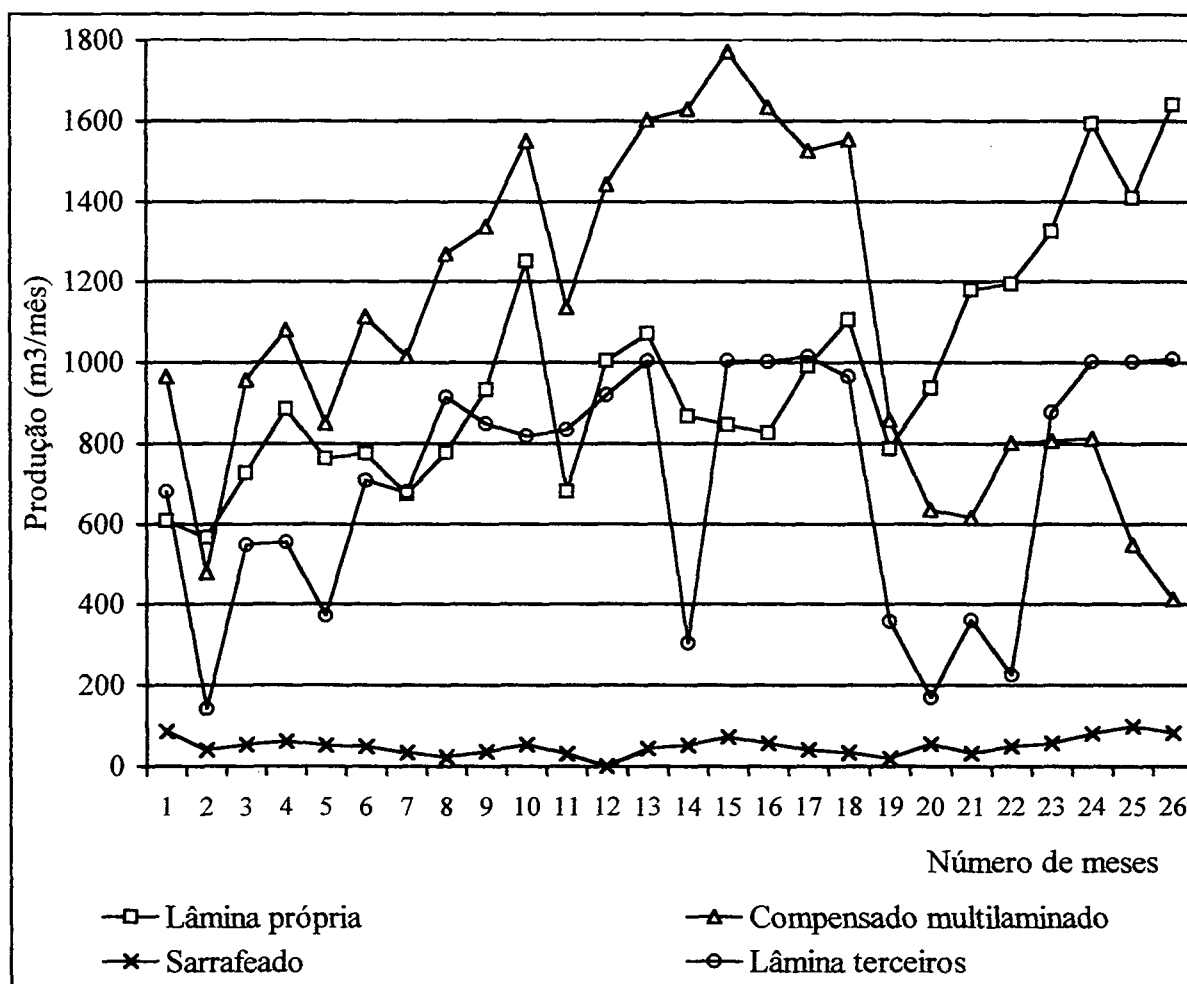
O rendimento em volume de compensado foi próximo de 33,7% em relação ao volume de toras. Na determinação deste rendimento descontou-se o volume de compensado produzido a partir de lâminas de terceiros. Este valor foi inferior ao citado em literatura, situados entre 38 e 46% de rendimento (ANDRADE, 1992; TOMASELLI, 1992; PINGREY, 1976; e OLIVER, 1975).

Os principais fatores que podem explicar o baixo rendimento da produção de compensado são equipamentos obsoletos e ineficiência do processo industrial.

Conforme a Tabela 27, observa-se que o consumo médio de cola no período analisado foi de 55Kg de cola por metro cúbico de compensado. Deste consumo, 84% foi de cola tipo fenol-formoldeído (denominada na fábrica de “cola vermelha”) para manufatura de compensado a prova d’água (uso exterior) e o restante de cola tipo uréia-formoldeído (conhecida como “cola branca”) para compensado de uso geral (uso interior), conforme classificação citada por TOMASELLI (1988).

A Figura 12 mostra o comportamento de consumo e da produção industrial no decorrer da série histórica analisada. No período, o consumo de lâminas próprias foi crescente, enquanto o de lâminas adquiridas de terceiros para compor as chapas de compensado mostrou-se bastante oscilante.

FIGURA 12. SÉRIE HISTÓRICA DE CONSUMO E PRODUÇÃO NA INDÚSTRIA



A evolução do principal produto da empresa, o compensado multilaminado, foi crescente até o final do ano de 1996. A partir daí, houve uma queda da produção devido a mudança de política de comercialização na empresa, a qual passou a dar ênfase a exportação de lâminas secas. A produção de lâminas foi sempre crescente no período pesquisado.

A produção média da fábrica de compensado atingiu no período analisado 13985m<sup>3</sup>/ano. Isto a classifica no Brasil como unidade de médio porte (SILVA, 1987).

#### 4.2.2. Geração de Resíduos

A Tabela 28 apresenta a produção média de resíduos gerados no processo produtivo do compensado, no período analisado de vinte e seis meses, considerando-se as unidades de laminação e da fábrica.

TABELA 28. RESÍDUOS GERADOS NA PRODUÇÃO DO COMPENSADO

DISCRIMINAÇÃO	RESULTADOS (m³/mês)					Massa Seca (Kg/mês)
	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo	Umidade (% b.u.)	
Laminação:						
a) Casca	304, 2	89,9	510,1	175,8	166,0	60171
b)Resíduos (laminas + rolo-resto)	1113,3	425,6	2413,7	832,0	89,0	227703
Fábrica de Compensado:						
• Resíduos da fábrica	122,4	41,6	193,7	51,2	10,6	36019
Total <sup>1</sup>	2203,6	-	-	-	-	421770

<sup>1</sup> Refere-se aos resíduos incluídos na produção de lâminas de terceiros.

A geração de resíduos (incluídos da produção de lâminas de terceiros) foi cerca de 2204m<sup>3</sup>/mês para uma produção total de 1165,4m<sup>3</sup>/mês de compensado. Estes resultados indicam a produção de 1,9m<sup>3</sup> de resíduos/m<sup>3</sup> de compensado. A geração de resíduos se situou em cerca de 65%.

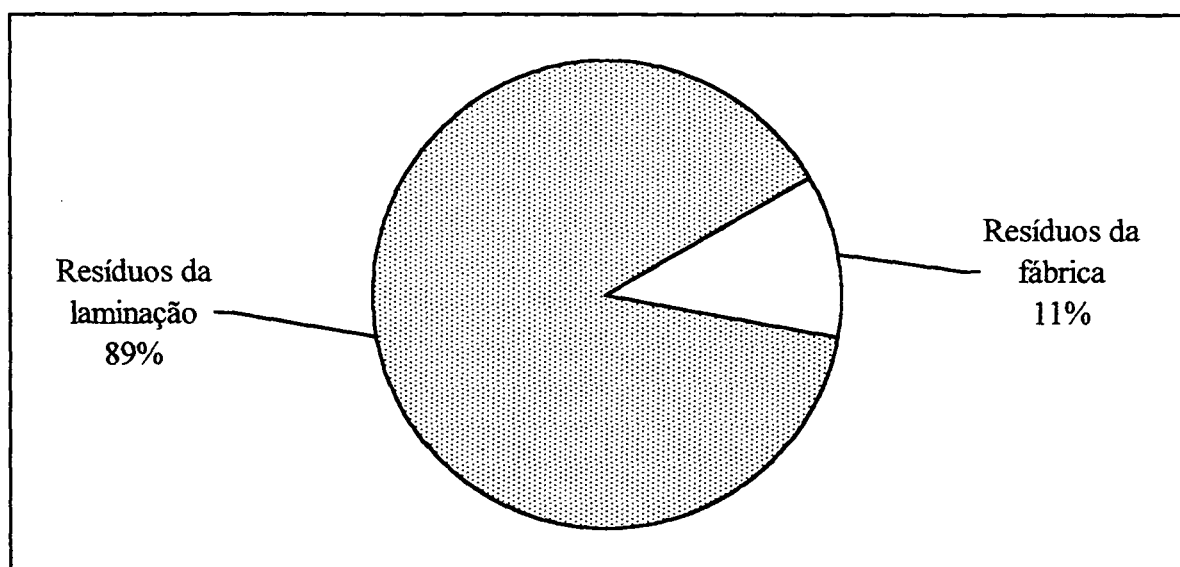
Os valores encontrados para geração de resíduos no presente trabalho foram superior aos dados apresentados por PINGREY (1976), OLIVER (1975), KOCH (1976) e JASPER e KOCH (1975), que mencionam a quantidade de resíduos em torno de 50-55% com base em volume. Uma explicação para a maior produção de resíduos na indústria analisada se deve a ineficiência do processo industrial do compensado. Outra explicação que rolo-resto e lâminas são usados como resíduos.

A Figura 13 mostra que 89% dos resíduos são gerados na laminadora, sendo a maioria na forma de lâminas e rolo-resto. A produção de resíduos da fábrica de compensado foi de 11%.

Em termos de participação relativa, resultados semelhantes são reportados por PINGREY (1975), que encontrou 82% na laminação e 18% na fábrica de compensado. MOORE (1975), CHRISTENSEN (1975) e TAVARES (1988), em trabalhos relativos a geração de resíduos na indústria florestal, citam que a maior produção é verificada na fase de conversão primária da madeira.

Este resultado era esperado uma vez que o produto usado na fábrica é semi-elaborado, enquanto na laminadora é matéria-prima bruta.

FIGURA 13. PRODUÇÃO RELATIVA DE RESÍDUOS NA INDÚSTRIA DE COMPENSADO



### 4.3 ANÁLISE DO PERFIL ENERGÉTICO

Para os cálculos de consumo de energia, os valores relativo a produção de lâminas adquiridas de terceiros e sua secagem, que foram utilizadas na produção de compensado, para efeito deste estudo, foram considerados iguais aos verificados na indústria estuda.

#### 4.3.1 Energia Elétrica

##### Potência Instalada

A potência elétrica nominal instalada (total e por setor) está apresentada na Tabela 29. A soma total indica uma potência elétrica nominal de 813,5Kw ou 1105 CV (*cavalo vapor*). Percebe-se, que este valor de potência encontrado na indústria de compensado, situa-se na faixa mencionada na literatura como sendo entre 665 e 1920Kw, que se pode verificar nos trabalhos de EKONO YO (1980) e BROWN e BETHEL (1965).

TABELA 29. POTÊNCIA ELÉTRICA INSTALADA POR SETOR

SETOR	POTÊNCIA			SETOR	POTÊNCIA		
	(Kw)	(Kw/m <sup>3</sup> )	(%)		(Kw)	(KW/m <sup>3</sup> )	(%)
Laminação	142,1	0,120 <sup>1</sup>	17,5	Prensagem	43,4	0,037	5,3
Geração de vapor	47,8	0,041	5,9	Acabamento	149,9	0,126	18,4
Secagem	250,2	0,215	30,8	Sarrafeado	146,5	0,129	18,0
Montagem	33,6	0,029	4,1	SOMA	813,5	0,698	100,0

<sup>1</sup> por m<sup>3</sup> de lâmina verde

Com base nos resultados de potência instalada e a produção industrial foi encontrada a relação média de 700watts/m<sup>3</sup> de compensado. Na literatura consultada, pouco pôde ser observado da relação potência instalada e produção de compensado. EKONO YO (1980), num trabalho sobre indústrias florestais de pequena escala, mostra uma potência instalada de

665Kw e uma produção de 900m<sup>3</sup>/mês, em uma indústria integrada de laminação e compensado. Com base nesta informação se verifica uma demanda de potência de aproximadamente 740w/m<sup>3</sup> de compensado, que é semelhante o resultado encontrado no presente trabalho (700w/m<sup>3</sup>).

O setor de secagem é o mais representativo com cerca de 31% da potência elétrica instalada. Isto se deve principalmente ao consumo de energia pelos ventiladores. Os setores de montagem (preparação) e de prensagem das chapas para compensado são caracterizados pelo pouco uso de equipamentos elétricos de maior potência, portanto, são setores de baixa demanda de energia elétrica.

#### Fonte de Energia Elétrica

A energia elétrica utilizada, como ocorre na maioria das indústrias do Brasil, é contratada junto a concessionária do sistema elétrico nacional, que no caso do Estado do Paraná é a COPEL – Companhia Paranaense de Energia Elétrica. A indústria utiliza sistemas de tarifação de energia elétrica, conforme se preceituam CONSERSWATT ENGENHARIA (1996), KEHR (1993) e COPEL (s.d.): o convencional e o horo-sazonal (Tabela 30).

TABELA 30. VALORES DE TARIFA DE ENERGIA ELÉTRICA NOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO UTILIZADOS NA INDÚSTRIA

Sistema de Medição	ITENS	Setembro 1997	Janeiro 2001
Convencional (Laminadora)	Importe de consumo (R\$/Kwh)	0,090	0,116
	Importe de demanda (R\$/Kw)	6,173	7,905
	Importe de consumo na ponta (R\$/Kwh)	0,363	0,621
Horo – Sazonal <sup>1</sup> (Fábrica)	Importe consumo fora de ponta (R\$/Kwh)	0,038	0,065
	Importe de demanda (R\$/Kw)	4,08	6,97
	Importe ultrapassagem demanda (R\$/Kw)	12,23	20,90

<sup>1</sup> Tarifa verde no período seco

FONTE: COPEL (1997); ANEEL (2001)

Na laminadora se utiliza o sistema convencional atendido em alta tensão elétrica, onde a tarifação é do modelo binômio, isto é, cobra-se o importe de potência em R\$/Kw e o consumo de energia em R\$/Kwh.

Na fábrica de compensado é usado o sistema horo-sazonal, que apresenta a modalidade tarifária estruturada em preços diferenciados de importe de potência em R\$/Kw e consumo de energia em R\$/Kwh, ao longo dos segmentos definidos como de ponta e fora-de-ponta; conforme discriminação verificada no extrato da conta de energia elétrica fornecida à indústria pela COPEL. O horário denominado de ponta ocorre entre às 18 e 21 horas. Nos demais horários do dia e final de semana ocorre o horário fora de ponta. Na época da pesquisa, a relação entre a tarifa do horário de ponta e fora-de-ponta estava em 9 para 1 (Tabela 30). A ultrapassagem da demanda de potência contratada incorre um acréscimo de custo muito grande, cerca de 300% maior por unidade de potência. Os valores de tarifas de energia elétrica entre o período da pesquisa e janeiro de 2001 tiveram aumento muito expressivo, chegando alguns itens de cobrança a cerca de 100%.

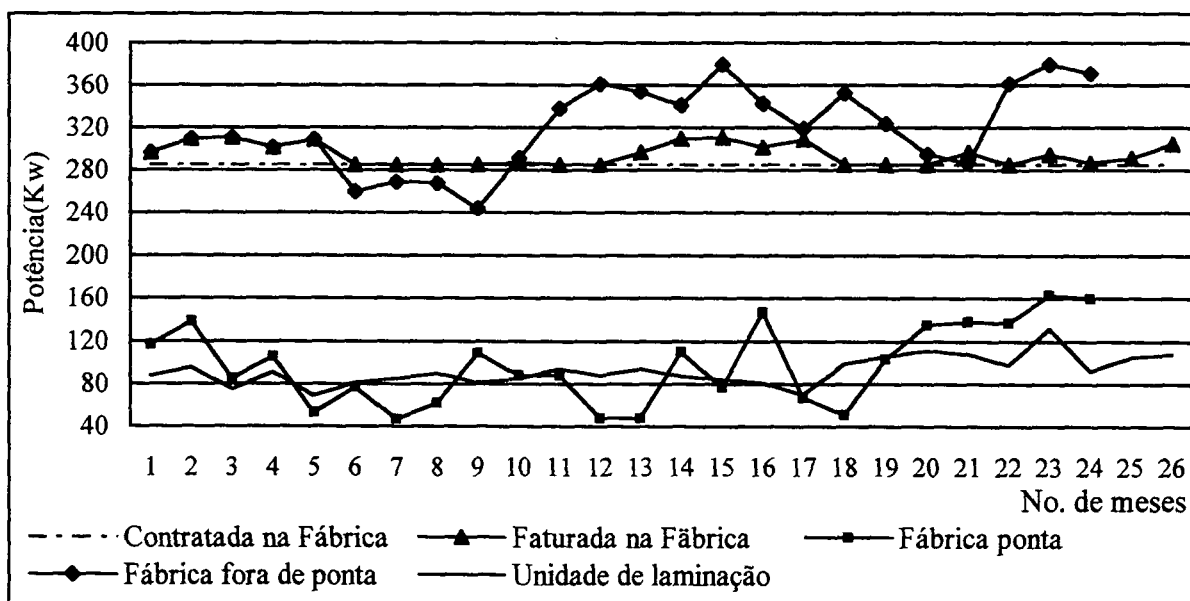
#### Demanda Histórica

A Tabela 31 apresenta os valores médios do importe mensal de potência consumida. A demanda histórica da potência elétrica da indústria cobrindo um período de 26 meses é ilustrada na Figura 14.

TABELA 31. DEMANDA DE POTÊNCIA ELÉTRICA MÉDIA POR M<sup>3</sup> PRODUZIDO

PRODUTO	DISCRIMINAÇÃO	RESULTADOS (watt/m <sup>3</sup> )					Meses
		%	Média	Desv.Padr	Máximo	Mínimo	Nº
Lâmina	Na laminadora	25,7%	99,9	26,4	168,9	57,7	26
Compensado ( multilaminado + sarrafeado)	Na fábrica	74,3%					
	• Fora de ponta		288,6	98,2	501,6	178,0	26
	• Na ponta		95,1	61,0	223,3	28,3	24
	• Composição		289,2	117,4	620,8	163,7	26

FIGURA 14. EVOLUÇÃO DA DEMANDA DE POTÊNCIA ATIVA NA UNIDADE DE LAMINAÇÃO E NA FÁBRICA DE COMPENSADO



Na fábrica foi encontrado o importe de potência elétrica médio de  $289,2\text{w/m}^3$  de compensado, enquanto na laminadora esta relação foi de  $99,9\text{w/m}^3$  de lâmina. Em termos relativos, os resultados encontrados de demanda de potência elétrica na indústria estão distribuídos em 25,7% na laminadora e o restante, 74,3% na fábrica de compensado.

Observa-se, em determinados meses, que a demanda da indústria (na fábrica) foi superior ao valor da demanda contratada junto a COPEL de 285Kw (Figura 14). Nesta circunstância a unidade consumidora de energia é penalizada com tarifa discriminada como importe de ultrapassagem de demanda, cujo custo por unidade de potência é significativamente maior.

A demanda de energia no horário de ponta se apresentou sempre menor que no outro horário. Isto é feito a propósito, através do desligamento de equipamentos de determinados setores da indústria, para reduzir os custo em energia em função do contrato vigente. Basicamente, no horário de ponta permanecem em funcionamento o setor de secagem das lâminas.

As Figuras 15a e 15b ilustram o comportamento do importe de potências que estavam sendo demandadas no decorrer de uma semana na fábrica de compensado. Nestas figuras há vários aspectos relativos a variação da demanda de energia em função do horário de funcionamento da indústria que merecem comentários:



FIGURA 15a . PERFIL DA DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA SEMANAL NA FÁBRICA DE COMPENSADO

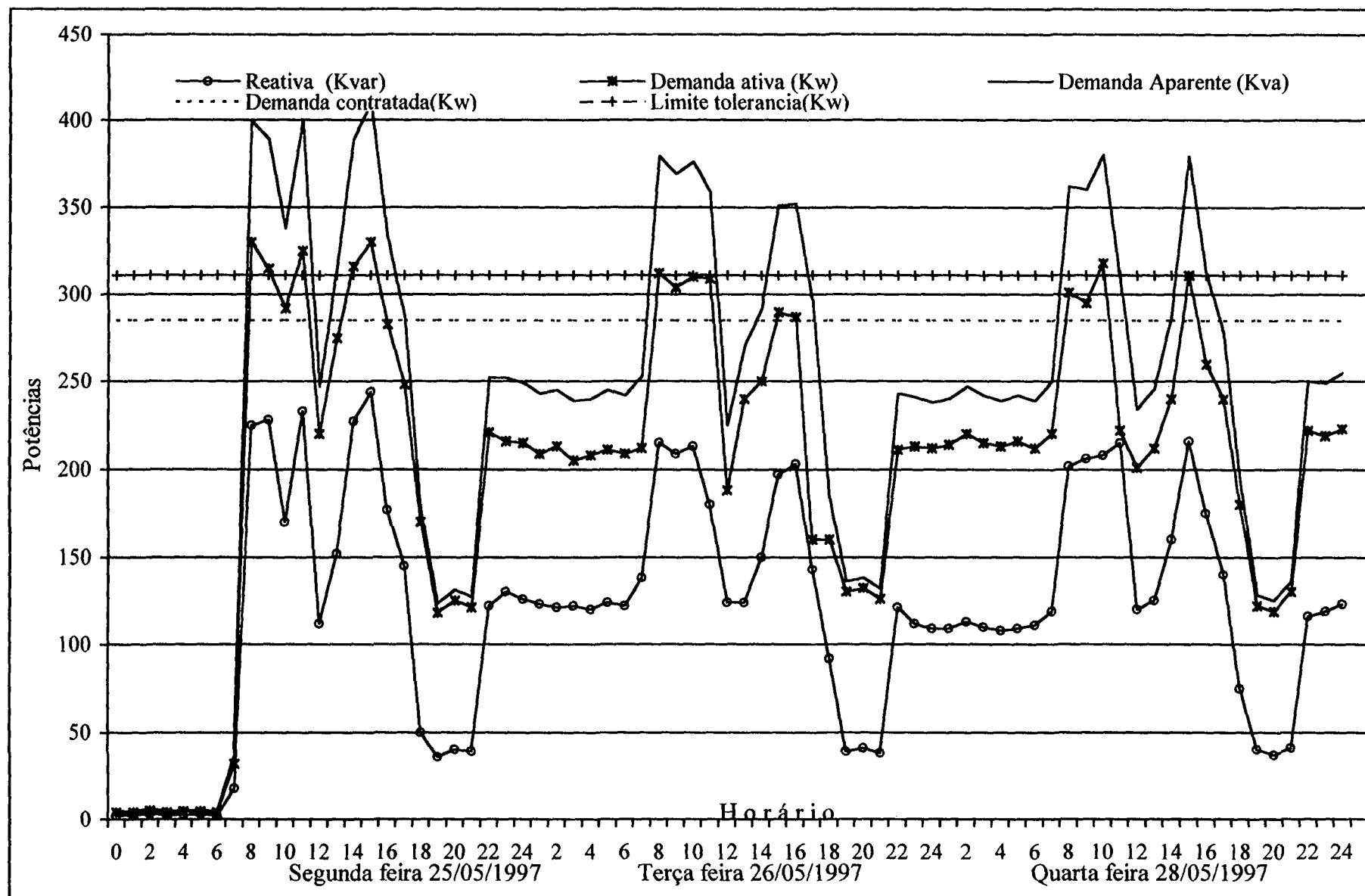
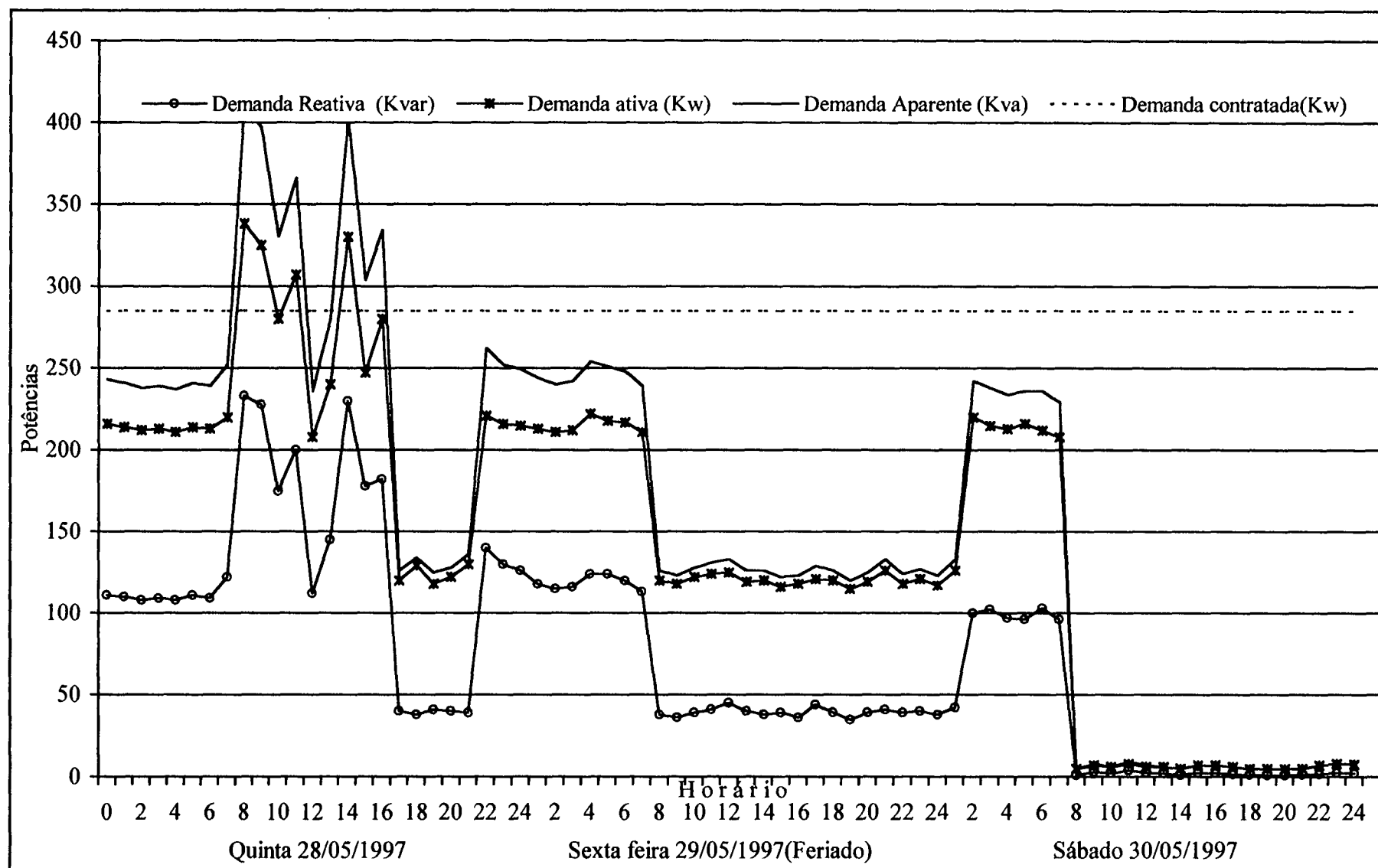


FIGURA 15b. PERFIL DA DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA SEMANAL NA FÁBRICA DE COMPENSADO



a) Demanda em função do horário:

- A maior demanda, como é esperada, ocorre nos horários ditos de expediente, situados de 7 às 17 horas do dia. Detecta-se uma sensível redução no intervalo de almoço.
- Entre 18 e 21 horas ocorre, de maneira destacada, o menor consumo. Este é o horário de ponta, onde ocorre a “sobretarifa”, e é necessário parar o funcionamento da maioria dos equipamentos.
- Nos horários ditos noturnos, compreendido entre 21 horas da noite e indo até as 7 horas manhã, há um consumo de pouca oscilação. Neste período, o consumo é característico do setor de secagem e de geração de vapor. Observa-se uma demanda elétrica grande e constante, exigida pelos secadores de lâminas.
- Comportamento semelhante também foi verificado no feriado (Figura 15b, na data de 29/05/97), onde o setor de secagem foi mantido funcionando. Já em dias de repouso semanal, como o domingo, a demanda de energia é mínima (próxima de zero).

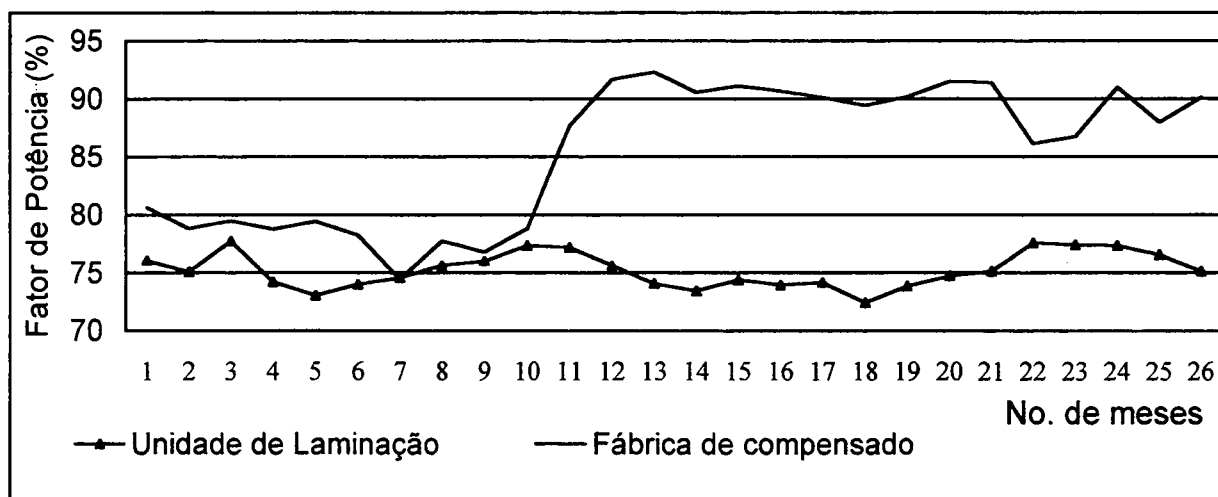
b) Fator de potência: A condição ideal e desejada, é a potência ativa ser a mais aproximada possível da potência aparente, significando, portanto, menor consumo de energia reativa. Em tal situação, atinge-se o melhor aproveitamento da energia elétrica para produção de trabalho das máquinas (STOUT, 1974; KEHR, 1993 e COPEL, s.d.). No intervalo noturno, caracterizado predominantemente pelo consumo do setor de secagem, a demanda de potência ativa foi a mais próxima da aparente (maior fator de potência).

c) Os picos de demanda elétrica foram registrados no período diurno, onde chegou a ultrapassar, no decorrer da semana, o limite de tolerância da potência contratada. De maneira preliminar, foi observado que a lixadeira das chapas de compensado foi o principal equipamento para gerar os picos.

Um parâmetro importante para conhecer o perfil energético na indústria quanto a efetiva utilização da energia elétrica é o fator de potência, que indica qual a porcentagem da potência fornecida (Kva) é efetivamente utilizada como potência ativa (Kw).

A Figura 16 mostra como a indústria estava utilizando a energia elétrica na unidade de laminação e na fábrica de compensado no decorrer da série histórica analisada.

FIGURA 16. EVOLUÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA NA UNIDADE DE LAMINAÇÃO E NA FÁBRICA DE COMPENSADO



Na unidade de laminação encontrou-se um fator de potência médio mensal de 75%. Este valor indica que  $\frac{3}{4}$  da potência elétrica está sendo consumida na forma de energia ativa (que é aquela que representa a realização efetiva de trabalho) e  $\frac{1}{4}$  como sendo energia reativa. A energia reativa não realiza trabalho, mas se destina a criar e manter campos eletromagnéticos para motores de cargas indutivas, por esse motivo, o seu valor ideal deve ser o menor possível. Estes valores inferiores (menores que 92%) de fator de potência, conforme COPEL, (1987); SEIP (1984) e KEHR (1993), evidenciam pouca eficiência no aproveitamento da energia elétrica e indica um adicional de sobrecarga para o sistema elétrico.

A justificativa para os valores baixos de fator de potência encontrados na laminadora se deve a qualidade ou estado de manutenção dos equipamentos elétricos e implica na necessidade de atualização do sistema elétrico utilizado atualmente naquela unidade da indústria.

Na fábrica de compensado o fator de potência médio mensal, numa série de vinte e seis meses, foi de 85%, que é melhor que o obtido na unidade de laminação. Observa-se que o valor médio do fator de potência dos quinze últimos meses da pesquisa foi aumentado para cerca de 90%. Este aumento se deve a instalação de capacitores na fábrica, visando torna-se mais eficiente no uso de energia elétrica. O valor de fator de potência desejável deve ser superior a 92%, conforme estabelece o DNAEE (1992). Neste contexto, o Decreto

nº 479 de 20 de março de 1992 do DNAEE exprime que o fator de potência das instalações elétricas deve ser sempre próximo de 100%.

A diferença significativa entre os fatores de potência encontrados na laminadora e na fábrica se deve a qualidade das instalações elétricas. Para a laminadora o recomendado é a instalação de capacitores para permitir a redução da potência reativa que circula entre a carga e a fonte de alimentação ocupando espaço no sistema elétrico e, por este motivo, liberar mais energia ativa. Esta é a energia que efetivamente realiza trabalho na indústria.

### Consumo Global

Os resultados do consumo médio por mês e por metro cúbico produzido de energia elétrica na indústria cobrindo um período de 26 meses são apresentados na Tabela 32.

TABELA 32. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NA INDÚSTRIA POR MÊS E POR M<sup>3</sup> PRODUZIDO (MÉDIA 26 MESES)

LOCAL	UNIDADE	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	MÁXIMO	MÍNIMO
	Kwh/mês	18743	4880	28393	11890
Laminadora	Mcal/mês	16119	4197	24418	10225
(Lâmina verde)	Kwh/m <sup>3</sup>	19,2	4,0	31,0	13,3
	Mcal/m <sup>3</sup>	16,6	3,5	26,7	11,4
	Kwh/mês	96410	23581	144827	65232
Fábrica <sup>1</sup>	Mcal/mês	829123	20279	124551	56099
(Compensado)	Kwh/m <sup>3</sup>	187,1	57,6	278,8	47,8
	Mcal/m <sup>3</sup>	160,8	49,5	239,8	41,1
Total por produto <sup>1</sup>	Kwh/m <sup>3</sup>	212,8	57,8	295,6	97,9
(Compensado)	Mcal/m <sup>3</sup>	182,9	49,7	254,2	88,4

<sup>1</sup> Para os valores expressos em unidade de energia/m<sup>3</sup> de compensado considerou referente ao volume de lâminas de terceiros utilizadas na produção.

Os dados apresentados tem uma grande dispersão em relação ao valor médio. Isto ocorre tanto para a unidade produtora de lâmina como de compensado. A principal razão para este fato foi a produção crescente no período pesquisado.

Para o cálculo do consumo global de energia elétrica por unidade de compensado produzida (Tabela 32) considerou-se o valor necessário para a produção e secagem de lâminas de terceiros, como sendo igual ao valor de energia consumida em relação a produção de lâminas próprias. Portanto, este princípio foi utilizado para determinar os resultados de consumo de energia elétrica por volume de compensado.

Ao se relacionar a demanda de energia elétrica com a produção da indústria, chegou-se aos resultados médios na laminadora de  $19,2\text{Kwh/m}^3$  de lâminas. Neste valor não está incluído o consumo de energia relativo a produção de lâminas de terceiros. Na fábrica o consumo de energia elétrica foi de  $187,1\text{Kwh/m}^3$ , seja  $160,8\text{Mcal/m}^3$  de compensado. Este resultado inclui o consumo de energia para a secagem das lâminas provenientes de terceiros.

Na industrialização do compensado encontrou a necessidade de  $212,8\text{Kwh/m}^3$  do produto, ou o equivalente em energia calorífica de  $182,9\text{Mcal/m}^3$ , quando se considera todas as fases de conversão da madeira no produto final.

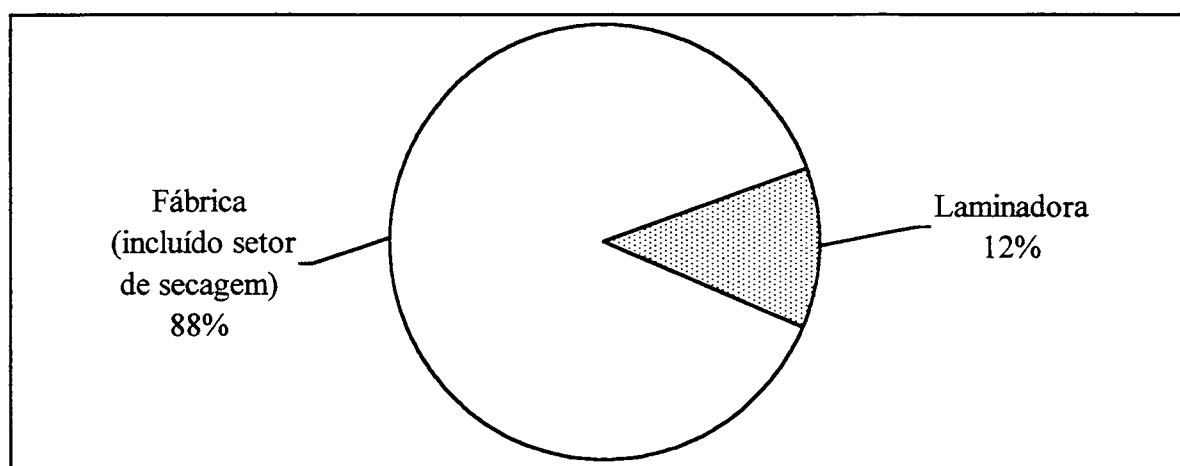
Este resultado global de consumo de energia elétrica se situa entre aos valores encontrados por EKONO YO (1980) e FUNG (1982). Estes mencionam os resultados de  $240\text{Kwh/m}^3$  ou  $206\text{Mcal/m}^3$  e 160 a  $300\text{Kwh/m}^3$  de compensado multilaminado, respectivamente para compensado de conífera. No resultado do trabalho de EKONO YO (1980) está imbutido o consumo de energia elétrica para transformar 36% dos resíduos da indústria de compensado em cavacos para processamento futuro. Por outro lado, foram encontrados valores menores, inferiores a  $100\text{Kwh/m}^3$ , nos trabalhos de KOCH (1976) e de PINGREY (1976) para espécies de coníferas e de folhosas, considerando indústrias integradas que produzem além de compensado, a madeira serrada e outras chapas de painéis. Estes dados apresentados na literatura são poucos e dispersos, mostrando para o consumo de energia elétrica na produção de compensado, uma variação de cerca de 100 a  $300\text{Kwh/m}^3$ .

Nos dados de KOCH (1976) sobre energia elétrica requerida na manufatura de dez produtos florestais, é encontrado o consumo mínimo de  $37\text{Mcal}$  e máximo de  $2505\text{Mcal}$  por tonelada de produto seco. Nesta faixa de consumo está listado o compensado, com os menores valores de consumo.

Há discrepância entre os resultados citados na literatura, principalmente devido o processo tecnológico utilizado e se tratar de indústrias localizadas em outros países. No Brasil não foi encontrado resultados específicos sobre consumo de energia relacionado com a produção de compensado. Por este motivo, há necessidade de ampliar a base de dados relativa ao consumo de energia elétrica na indústria de compensado no Brasil, levando em consideração parâmetros como matéria-prima de coníferas e de folhosas; localização e realidade geográfica das indústrias como as regiões produtoras de compensados principais, o Sul e o Norte do país; o porte e o nível tecnológico das indústrias.

Em termos relativos, os resultados encontrados, para consumo geral de energia elétrica na indústria, estão distribuídos em 12% na laminação das toras e restante, 88%, na manufatura do compensado (Figura 17).

FIGURA 17. CONSUMO RELATIVO DE ENERGIA ELÉTRICA NA INDÚSTRIA



Especificamente para a empresa analisada o setor de secagem de lâminas está localizado na fábrica. Por este motivo, o maior consumo na fábrica se deve ao uso mais intensivo e a demanda de maior potência elétrica dos equipamentos que compõem os secadores de lâminas e no sistema de geração de vapor da indústria.

#### Consumo por Setor

Os resultados do consumo de energia elétrica por setor na indústria de compensado são apresentados na Tabela 33.

TABELA 33. CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA ELÉTRICA POR MÊS E M<sup>3</sup> DE PRODUTO DA INDÚSTRIA (PERÍODO E JULHO A SETEMBRO DE 1997)

SETOR	CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA ELÉTRICA				
	Kwh/mês	Mcal/mês	(%)	Kwh/m <sup>3</sup>	Mcal/m <sup>3</sup>
Laminação	18861	16220	11,1	19,3 <sup>1</sup>	16,6 <sup>1</sup>
Geração de vapor	15919	13690	9,4	16,3 <sup>1</sup>	11,7 <sup>1</sup>
Secagem	109353	94044	64,3	111,8 <sup>1</sup>	96,2 <sup>1</sup>
Preparação e montagem	1545	1329	0,9	1,3	1,1
Prensagem	2717	2337	1,6	2,3	2,1
Acabamento	13768	11840	8,1	11,8	10,2
Sarrafeado	6075	5225	3,6	82,3	4,5
Administração e iluminação	3839	1582	1,1	1,6	1,4
Total	170077	146266	100,0	-	-

<sup>1</sup> Consumo de energia por m<sup>3</sup> de lâmina verde

Os dados apresentados na Tabela 32 possuem pequena diferença em relação aos dados da Tabela 33, pois os primeiros refletem a série histórica de 26 meses compreendida entre agosto de 1995 e setembro de 1997. Como os dados desta série não contemplavam o consumo por setor da indústria, entre os meses de julho e setembro de 1997, foi realizada determinações específicas de consumo de energia elétrica nos equipamentos que compõem cada setor.

O setor de secagem com cerca de 65% do consumo de energia elétrica, é o mais representativo da demanda elétrica na indústria de compensado. Ao somar o consumo de energia elétrica do setor de geração de vapor com o de secagem, ambos, passam a representar 74% da demanda de energia elétrica na indústria. Neste valor está expressa a importância da secagem quanto ao uso de energia elétrica na indústria de compensado. Autores como OLIVER (1975), COMSTOCK (1975), ELLIS (1928), LENGEL (1975) e B. H. LEVELTON & ASSOCIATE (1978), sem citar valores, mencionam que o setor de secagem é o que domina amplamente o emprego de energia elétrica na indústria de compensado.



O consumo de energia elétrica muito grande no setor que compreende a geração de vapor e secagem de lâminas se deve ao uso mais intensivo de motores elétricos e a maior potência elétrica dos mesmos. O uso intensivo é representado pelo maior tempo de funcionamento dos equipamentos, como os secadores, que funcionam sem interrupção, com paradas apenas para serviços de manutenção. Equipamentos como exaustores da caldeira, ventiladores e esteiras para funcionamento requerem quantia apreciável de energia elétrica.

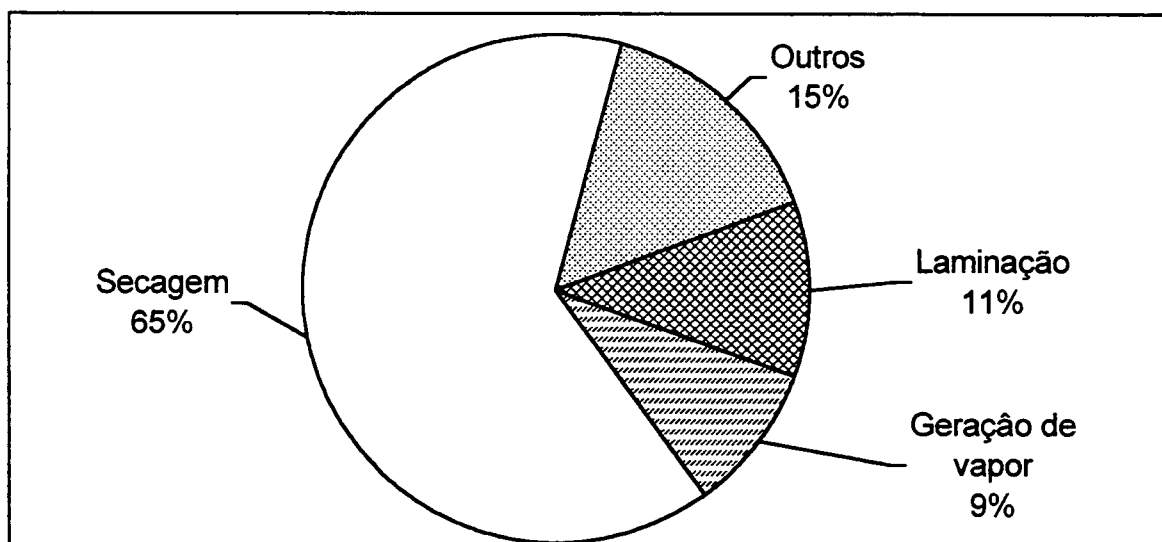
A área de secagem é seguida, por valor bem menor, pelo setor de laminação com uma participação na utilização da energia elétrica global de 11%.

Entre os setores da área industrial do compensado, a montagem das chapas consome muito pouca energia elétrica cerca de 1%. Em contrapartida, neste há uma demanda de trabalho humano maior que os setores maiores consumidores de energia elétrica, como por exemplo, a secagem.

Destaca-se que o uso de energia elétrica é intensivo na industrialização do compensado, sendo empregada em todos os setores produtivos e de administração da indústria. Esta fonte de energia não é utilizada somente no setor ligado a movimentação dos materiais e de transporte.

Os principais setores de consumo de energia elétrica são mostrados graficamente, em termos de participação relativa, na Figura 18.

FIGURA 18. CONSUMO RELATIVO DE ENERGIA ELÉTRICA POR SETOR



### Principais Equipamentos Consumidores Energia Elétrica

Neste item são apresentados os equipamentos classificados como grandes consumidores de energia elétrica na indústria de compensado, bem como o perfil de consumo de alguns deles.

A Figura 19 apresenta o consumo mensal relativo dos cinco principais equipamentos consumidores de energia elétrica, enquanto na Figura 20 é mostrado o perfil do consumo diário de energia para alguns desses equipamentos.

Os equipamentos de maior demanda de energia elétrica, ou seja, dois secadores, três exaustores, dois tornos, duas estufas e uma lixadeira, somados, consomem por volta de 90% da energia elétrica na indústria analisada. Verifica-se que somente os dois secadores de lâminas respondem por aproximadamente 60% da demanda de energia elétrica da indústria de compensado (Figura 19).

FIGURA 19. EQUIPAMENTOS MAIORES CONSUMIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA

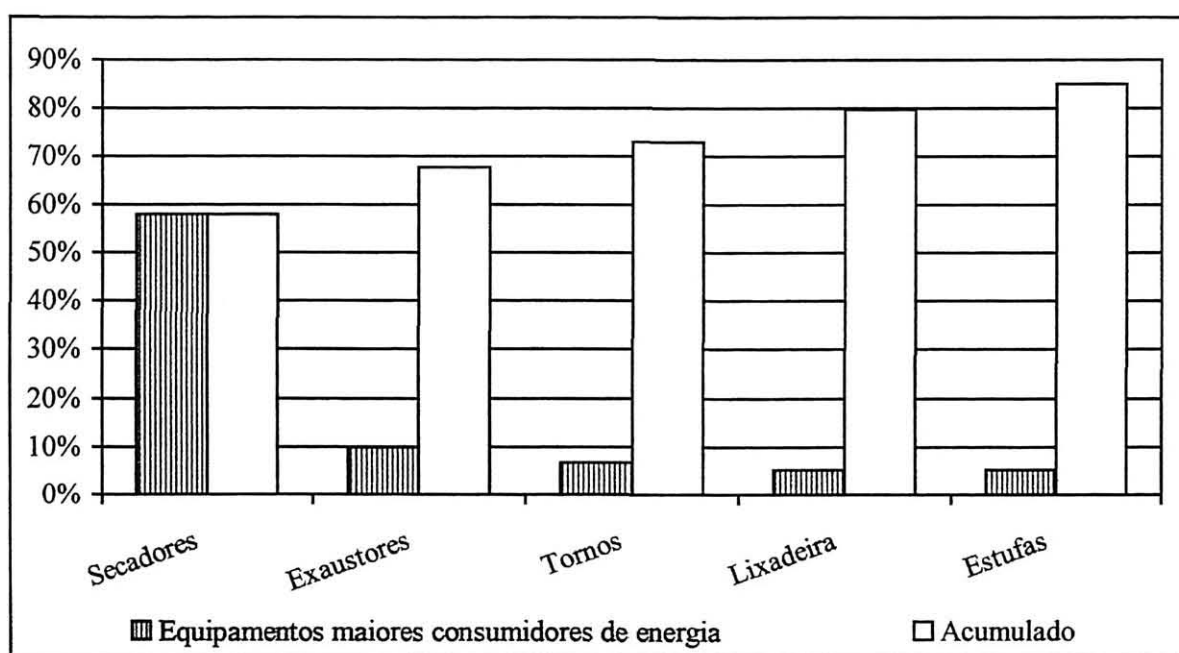
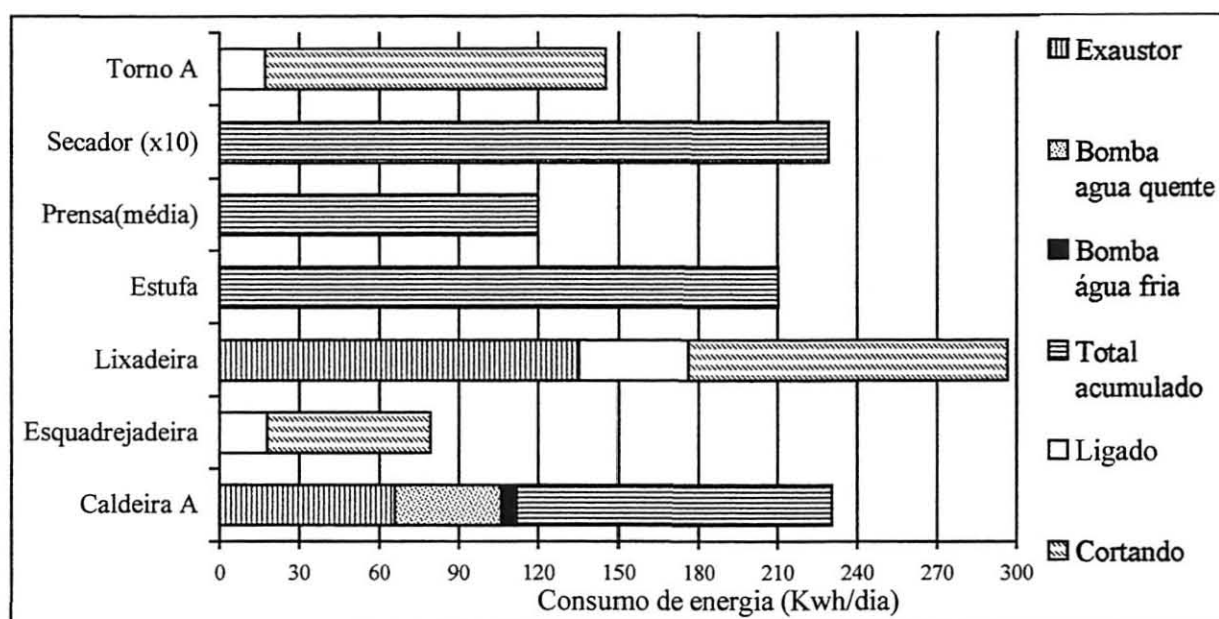
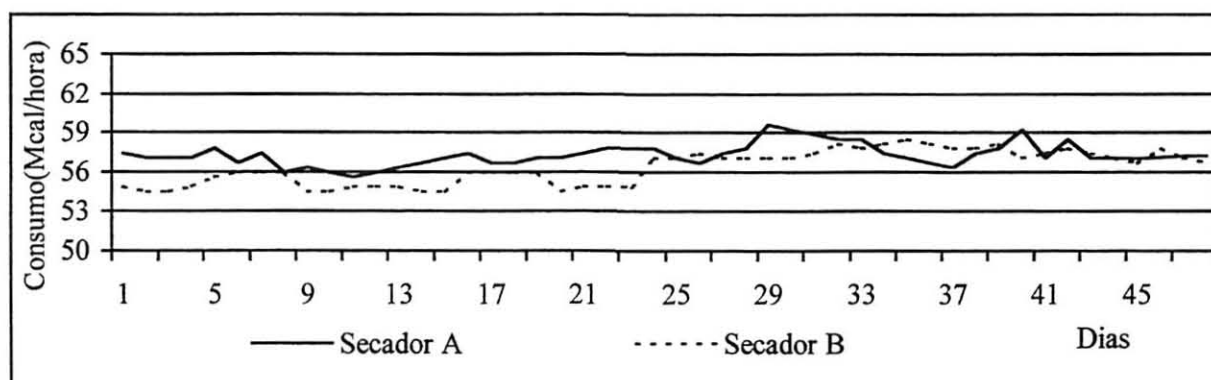


FIGURA 20. PERFIL DO CONSUMO DIÁRIO DE ENERGIA ELÉTRICA EM ALGUNS DOS PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS DA INDÚSTRIA



Os equipamentos que consomem mais energia elétrica são os secadores de lâminas. Um secador consome, em média, 37464Kwh/mês de energia elétrica ou o equivalente a cerca de 57Mcal/hora de funcionamento (Figura 21). Nesse equipamento foi observada uma relação de consumo de cerca de 77Kwh/m<sup>3</sup> de lâmina seca. O consumo de energia elétrica no secador de lâmina de madeira se caracteriza por uma demanda quase constante de energia (Figura 21). O consumo médio dos secadores foi de cerca de 57Mcal/hora de trabalho, sendo o valor mínimo 54 e máximo de 60Mcal/hora. Estes resultados refletem a coleta no decorrer de 45 dias ocorridos entre julho e agosto de 1997.

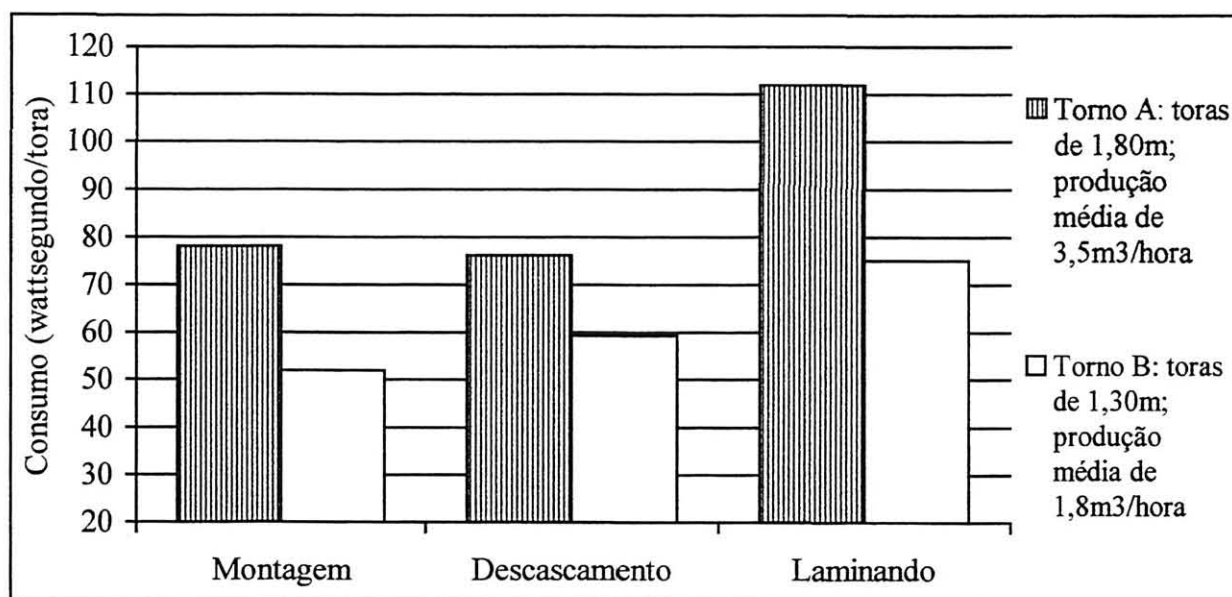
FIGURA 21. PERFIL DO CONSUMO MÉDIO HORÁRIO DE ENERGIA ELÉTRICA NOS SECADORES



Há uma forte relação entre a potência nominal do equipamento e o consumo de energia elétrica, no entanto nem sempre, a maior potência instalada determina o maior consumo de energia. Isto depende muito da característica da operação de cada equipamento. Outro fator de destaque para definir o maior ou menor consumo de energia é o tempo de funcionamento do equipamento.

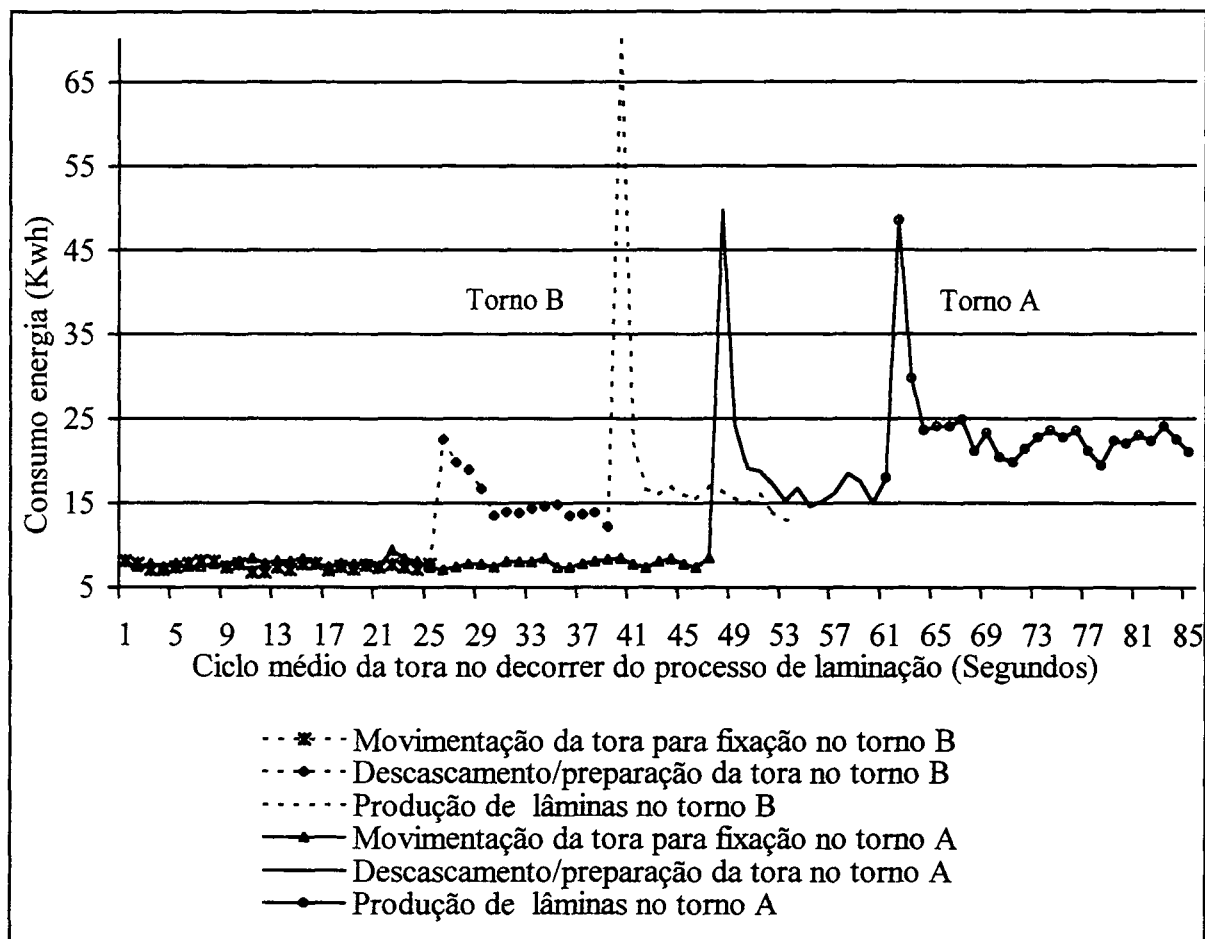
Há equipamentos, como os de secagem que caracterizam-se por consumo de energia elétrica quase constante. Já os tornos de laminação apresentam grande oscilação de consumo quando se analisou o ciclo da tora no decorrer do processo. Isto é, o carregamento do torno, o descascamento e preparo no torno e, por fim, o instante de maior consumo, a laminação propriamente dita (Figuras 22a e 22b).

FIGURA 22a. CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA ELÉTRICA DOS TORNOS DE LAMINAÇÃO NAS DIVERSAS FASES DO PROCESSO



Verifica-se, ainda, uma diferença de demanda quando se compara equipamentos mais modernos (torno A) que tem produção cerca de 94% maior em relação ao equipamento mais antigo (torno B). Este torno, além de maior relação entre demanda de energia e produção, tem a característica de um altíssimo pico de consumo no momento do "arranque" para proceder a laminação (Figura 22b).

FIGURA 22b. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO CICLO DE LAMINAÇÃO



As prensas são equipamentos, à exemplo dos tornos, que apresentam grande oscilações de demanda de energia elétrica e também de potência no decorrer de um ciclo de prensagem. Quando somente ligada o consumo é mínimo. O seu carregamento é o procedimento de maior demanda de potência e grande consumo, dado o funcionamento de forma conjunta ou simultânea dos motores de alta e de baixa pressão, mas com tempo de trabalho relativamente pequeno. O procedimento da calagem nas chapas, que corresponde a prensagem propriamente dita, onde a potência demandada é pequena, mas o tempo de trabalho é significativamente maior em relação a etapa anterior, resultando num consumo geral maior de energia elétrica. Por fim, o descarregamento que é um procedimento rápido e de baixo consumo energético (Figuras 23a e 23b).

FIGURA 23a . DEMANDA DE POTÊNCIA E CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA ELÉTRICA NA PRENSA E TEMPO DE FUNCIONAMENTO MÉDIO NO CICLO DE PRENSAGEM

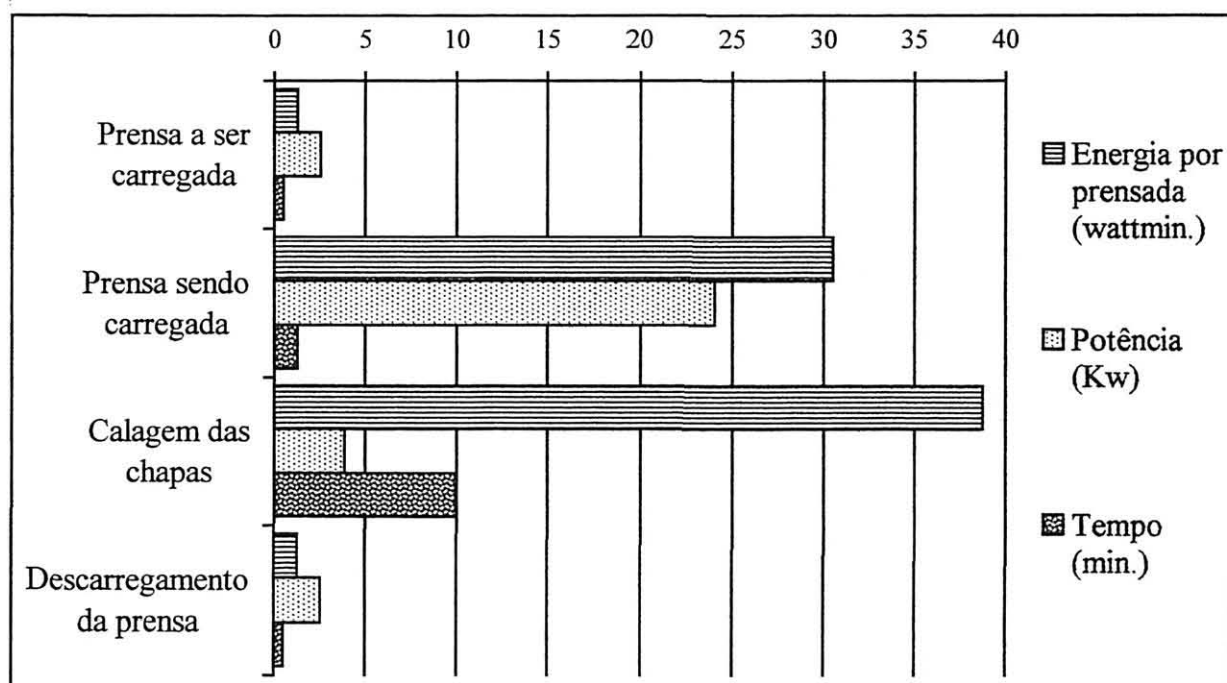
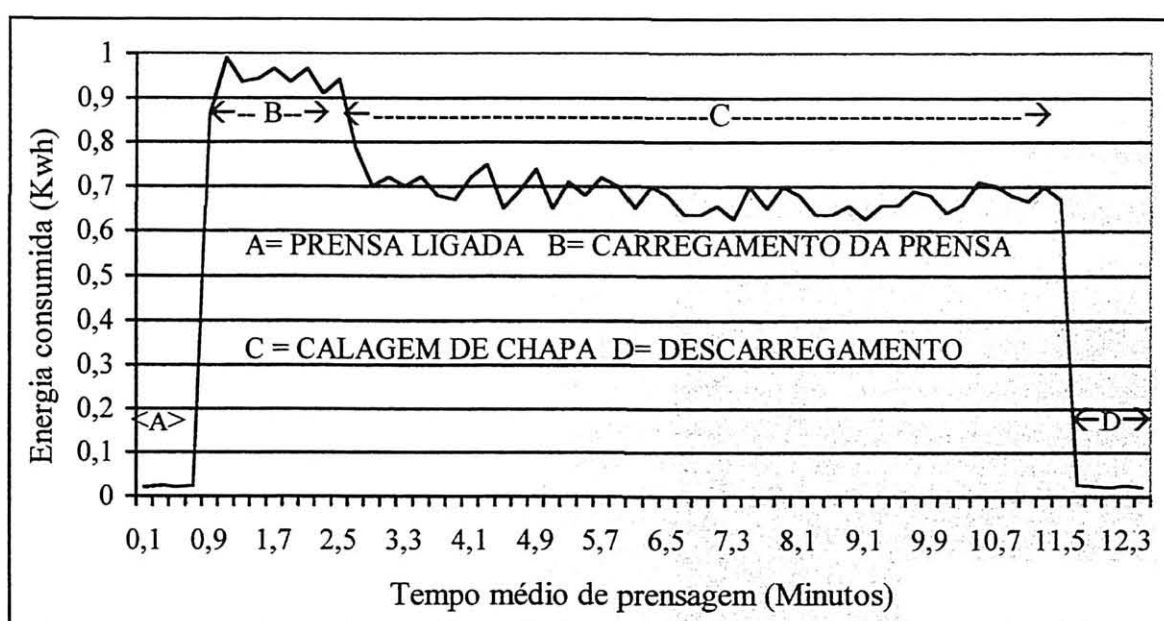


FIGURA 23b. PERFIL DO CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA ELÉTRICA NA PRENSA NO CICLO DE PRENSAGEM



### 4.3.2 Energia Térmica

#### Unidade de Produção

A indústria disponibiliza a produção de energia térmica na forma de vapor saturado, utilizando-se duas caldeiras tipo fogotubular, conforme apresentação no item 4.1, sendo uma instalada na laminadora e outra na fábrica de compensado.

A caldeira da laminadora produz vapor para os tanques (oito) de aquecimento das toras e para uma estufa. A caldeira instalada na fábrica disponibiliza vapor para os secadores de lâminas, uma estufa, duas prensas de chapas e uma juntadeira de sarrafos.

#### Combustíveis Utilizados e Consumo

Os resultados médios do consumo de biomassa para geração de energia na indústria são apresentados na Tabela 34 enquanto na Figura 24 é ilustrado o consumo relativo por tipos de resíduos.

O consumo total de biomassa nas caldeiras foi de cerca de 2,17 milhões de Mcal/mês para a produção global de 1165,4m<sup>3</sup> de compensado na indústria. Estes valores indicam, para fim de geração de energia, a produção de 1867Mcal produzidos a partir de resíduos gerados na obtenção de 1m<sup>3</sup> de compensado.

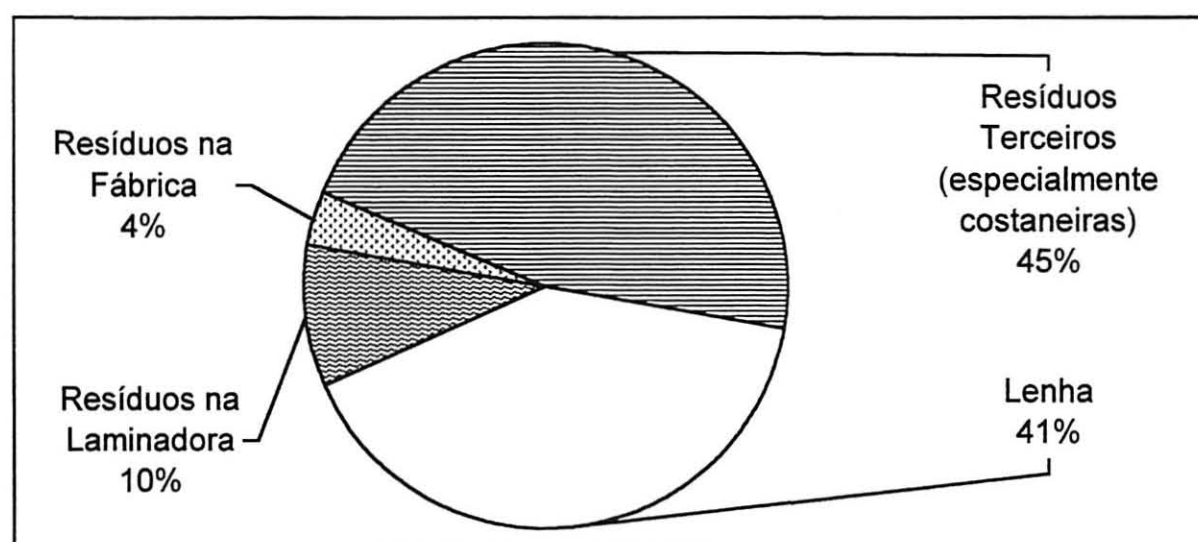
Durante os levantamentos verificou-se que na laminação estava sendo consumido biomassa somente na forma de lenha roliça, enquanto na fábrica se utilizava, além da lenha, os resíduos da laminadora e da própria fábrica e costaneiras compradas de terceiros. Destaca-se que estes resíduos adquiridos de terceiros, na época da pesquisa, representavam quase a metade do consumo da fábrica (Figura 24), adicionando-se a lenha a porcentagem sobe a 86% do total. Por outro lado, parte significativa dos resíduos da laminação não estava sendo consumida pela indústria.

TABELA 34. CONSUMO MÉDIO BIOMASSA USADA NAS CALDEIRAS E PRODUÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA

LOCAL E BIOMASSA	RESÍDUOS (Kg/dia) <sup>1</sup>				Umidade (%b.s.)	Poder Calorífico (Kcal/Kg)	Energia Térmica Potencial (Mcal/mês)
	Média	D. P.	Máximo	Mínimo			
a) Laminação: Lenha	10425	2725	19126	8264	166,8	1252	339.494
b) Fábrica:	23421	-	-	-	79,7 <sup>2</sup>	2127 <sup>2</sup>	1.283.999
Lenha	3181	701	5470	2679	145,8	1461	120.804
Resíduos Terceiros	15553	3149	26164	13155	80,0	2126	860.566
Resíduos Laminação	3235	717	5553	2708	77,3	2156	181.350
Aparas Fábrica	1309	142	1577	915	11,5	3779	107.008
Pó na fábrica	143	18	219	136	9,9	3836	14.271
Total <sup>3</sup>	45354						2.175.481

<sup>1</sup> Valores coletados nos meses de junho e agosto de 1997 e refere a produção total da indústria; <sup>2</sup> Média ponderada; <sup>3</sup> Refere-se a quantidade de combustível necessária incluída a produção e secagem de lâminas adquiridas de terceiros; D.P. = desvio padrão

FIGURA 24. CONSUMO MÉDIO RELATIVO DE BIOMASSA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA



A biomassa utilizada para geração de energia se encontrava com alto conteúdo de umidade, com exceção dos resíduos oriundos da fábrica de compensado (Tabela 34). Na



laminadora a lenha apresentava cerca de 166,8% enquanto na fábrica a média ponderada foi de 79,7% de conteúdo de umidade em base seca. Por este motivo, foi verificado um poder calorífico bastante reduzido, redundando-se em baixa produção de energia térmica e maior demanda de biomassa.

A análise demonstrou que a empresa não vinha utilizando os resíduos gerados, e adquiriria uma parte substancial de biomassa (na forma de lenha e costaneira), além disto todo o material utilizado para queima possuía um alto teor de umidade, reduzindo a eficiência da caldeira.

Em princípio é esperado que uma unidade de compensado seria auto-suficiente na geração de energia térmica usando os resíduos, o que não vem acontecendo. Este aspecto será analisado em mais detalhes adiante neste estudo (ver item 4.4.2 – Otimização).

É conhecido que a umidade tem efeito negativo na alteração do poder calorífico superior da biomassa conforme citam diversos autores JUVILLAR (1984) TOMASELLI (1983), BRITO (1993), MARTINS (1980), BROWN e BETHEL (1965), DINIZ (1981), PRESTON (1982), COMSTOCK (1975), HAGEN e BERG (1976) e HIRATA (1982). Por conseguinte, a eficiência da caldeira na geração de vapor é menor a medida que se usa biomassa com maior teor de umidade, conforme se verifica nos trabalhos sobre uso de biomassa para energia, baseado em diversos autores como OVEREND e SILVERSIDES (1980), HAGEN e BERG(1976), CORDER (1975), WOLF (1975), AROLA (1982) e MITRE (1982). A Tabela 35 apresenta o efeito negativo da umidade no poder calorífico superior e na eficiência da caldeira.

TABELA 35. INFLUÊNCIA DO CONTEÚDO DE UMIDADE DA BIOMASSA NO PODER CALORÍFICO E NA EFICIÊNCIA DA CALDEIRA

UMIDADE (% base úmida)	PODER CALORÍFICO SUPERIOR (Kcal/kg)	EFICIÊNCIA DA CALDEIRA (%)
0	4600	85
15	4130	77
30	3400	73
40	2920	70
50	2430	65
60	1940	58

FONTE: MITRE (1982)

### Consumo Global

Os resultados médios do consumo de vapor e o equivalente em energia térmica para as duas caldeiras são apresentados na Tabela 36. Estes resultados se refere aos dados coletados no período compreendido entre os meses de agosto e setembro de 1997.

O consumo global de energia térmica na fabricação de compensado encontrado foi de 1848Mcal/m<sup>3</sup>. Neste valor está incluso o consumo referente a produção e secagem de lâminas de terceiros.

TABELA 36. CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA TÉRMICA NAS CALDEIRAS

UNIDADE	CONSUMO DE VAPOR		EQUIVALENTE ENERGIA TÉRMICA	
	Kg/hora	Kg/m <sup>3</sup>	Mcal/mês	Mcal/m <sup>3</sup>
Caldeira na laminadora	1240	396 <sup>1</sup>	363965	372,3 <sup>1</sup>
Caldeira na fábrica	5200	1392	1249123	1349,3
Total (por compensado)	-	1923	-	1848,2

<sup>1</sup> Consumo de energia por m<sup>3</sup> de lâmina verde

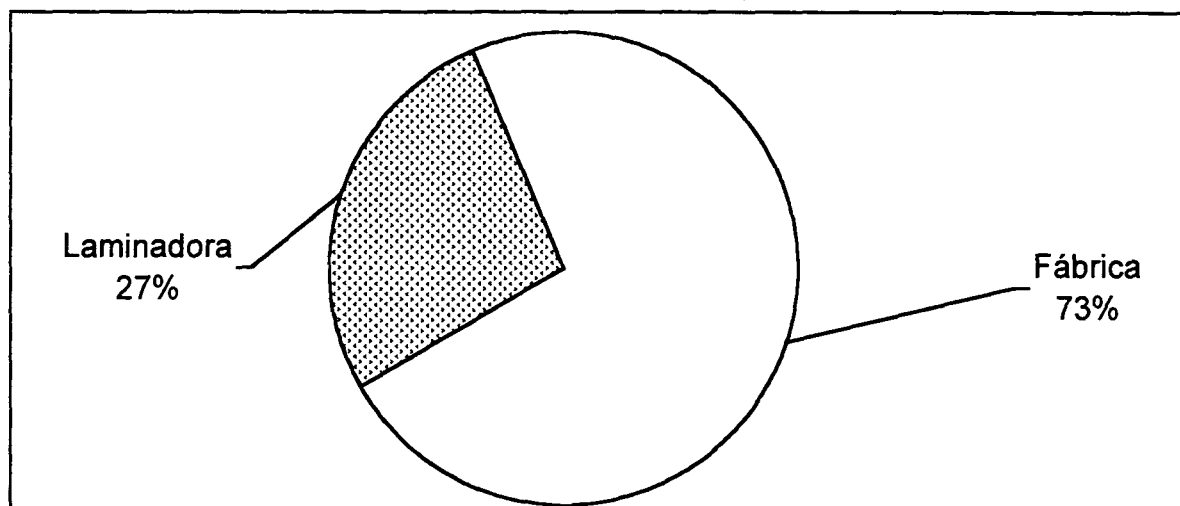
Na literatura foram observados resultados bem díspares. Os maiores valores foram verificados nos trabalhos de KOCH (1976) e PINGREY (1976) cerca de 1580Mcal/m<sup>3</sup> para compensado de madeira de folhosa. Valores menores foram encontrado no trabalho de COMSTOCK (1975). Para coníferas KOCH (1976) e PINGREY (1976) informam valores de cerca de 810Mcal/m<sup>3</sup> de compensado e enquanto EKONO YO (1980) e FUNG (1982) indicam 1100Mcal/m<sup>3</sup>. O resultado encontrado no trabalho está situado acima dos valores citados na literatura. O motivo se deve as condições obsoleta das caldeiras e o alto teor de umidade da biomassa que conforme MITRE (1982) diminui a eficiência da caldeira e, por conseguinte, necessita mais combustível.

O consumo de vapor pode variar dependendo do processo de fabricação do compensado, da matéria-prima empregada e das especificações do produto final. Por exemplo, pode interferir no consumo de energia térmica, a matéria prima e sua umidade inicial; o rendimento da caldeira (que depende do tipo e do combustível utilizado); a

eficiência no aproveitamento do vapor (perdas ocorridas); a espessura das lâminas e outras variáveis.

A porcentagem relativa média do consumo total de energia térmica é apresentada na Figura 25.

FIGURA 25. CONSUMO MÉDIO RELATIVO DE ENERGIA TÉRMICA



Observa-se que o consumo de energia térmica se dá predominantemente na fábrica de compensado com cerca de 73% do consumo global da indústria, enquanto o restante 27% é relativo a demanda da laminadora. O valor observado de maior demanda na fábrica é decorrente do setor de secagem nela instalado, onde os secadores se apresentam como grandes consumidores de energia térmica.

#### Consumo por Setor

Os setores da industrialização de compensado que utilizam energia térmica são: laminação, secagem, prensagem e sarrafeado, conforme mostram os resultados médios apresentados na Tabela 37. A participação relativa do consumo de energia térmica por setor, com base no consumo de energia por volume de produção é ilustrada na Figura 26.

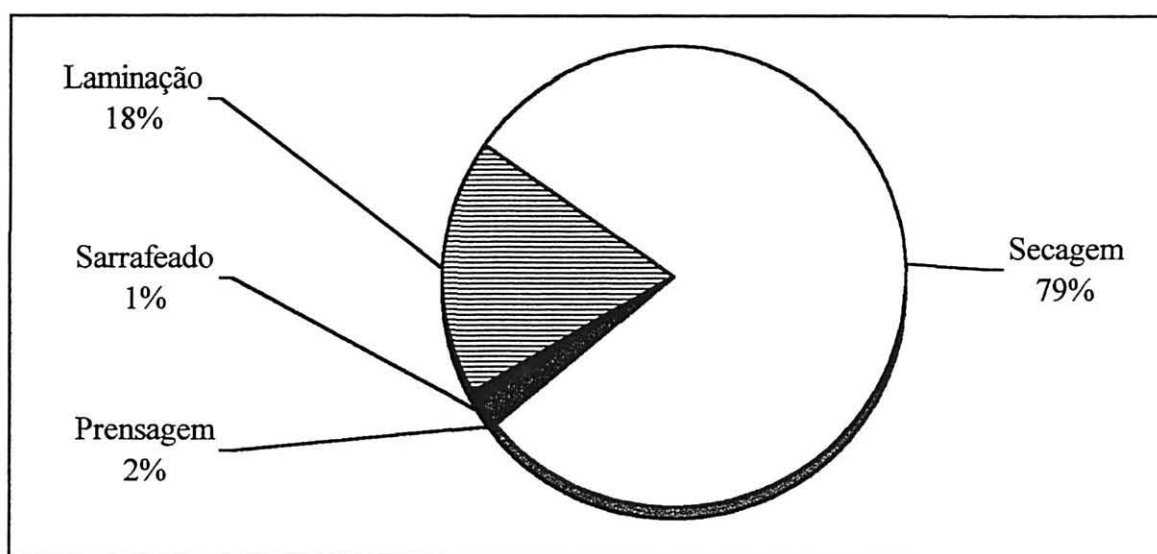
TABELA 37. CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA TÉRMICA POR SETOR

SETOR	Kg vapor/hora	Mcal/mês	%	Kg vapor/m <sup>3</sup>	Mcal/m <sup>3</sup>
Laminação	840	246557	15,3	258,1 <sup>1</sup>	252,2 <sup>1</sup>
Secagem	4900	1318947	81,6	1535,2	1467,0
Prensagem	400	34440	2,1	62,1	29,6
Sarrafeado	300	16144	1,0	51,0	13,8
TOTAL	6440	1616088	100,0		

<sup>1</sup> Consumo de energia por m<sup>3</sup> de lâmina

Nota: dados coletados entre junho e agosto de 1997.

FIGURA 26. CONSUMO RELATIVO DE ENERGIA TÉRMICA POR SETOR



Os dados apresentados indicam que o setor de secagem (lâminas e serrados) responde por cerca de 79% do consumo geral de energia térmica, seguido pelo de laminação com 18%. Resultado semelhante foi encontrado no trabalho de OLIVER (1975), isto é, 81% do consumo global de energia térmica se dá na secagem.

O maior consumo na utilização de energia térmica ocorre na etapa de secagem das lâminas, no processo de fabricação de compensado, conforme vários autores como COMSTOCH (1975), ELLIS (1982), OLIVER (1975) e B.H. LEVELTON e ASSOCIATES

(1978). Neste estudo foi encontrado o consumo médio na secagem de  $1467 \text{Mcal/m}^3$  de lâminas, que é um valor superior aos citados por COMSTOCK (1978) e OLIVER (1975). O maior consumo verificado no presente trabalho pode ser atribuído as condições de secagem e lâminas se apresentarem com teor de umidade mais alta.

No setor de prensagem foi verificado baixo consumo de energia térmica em relação ao setor de secagem e laminação. Foi observado um consumo médio de cerca de  $30 \text{Mcal/m}^3$  na prensagem do compensado. Resultado semelhante foi encontrado no trabalho de OLIVER (1975).

Nas prensas o consumo de energia térmica é baixo em relação aos secadores. Nas prensas a energia térmica se destina somente ao aquecimento da massa. Nos secadores, na forma de vapor, a energia térmica é utilizada no aquecimento, mas o principal uso é para secagem através da eliminação da água das lâminas.

#### Pontos de demanda

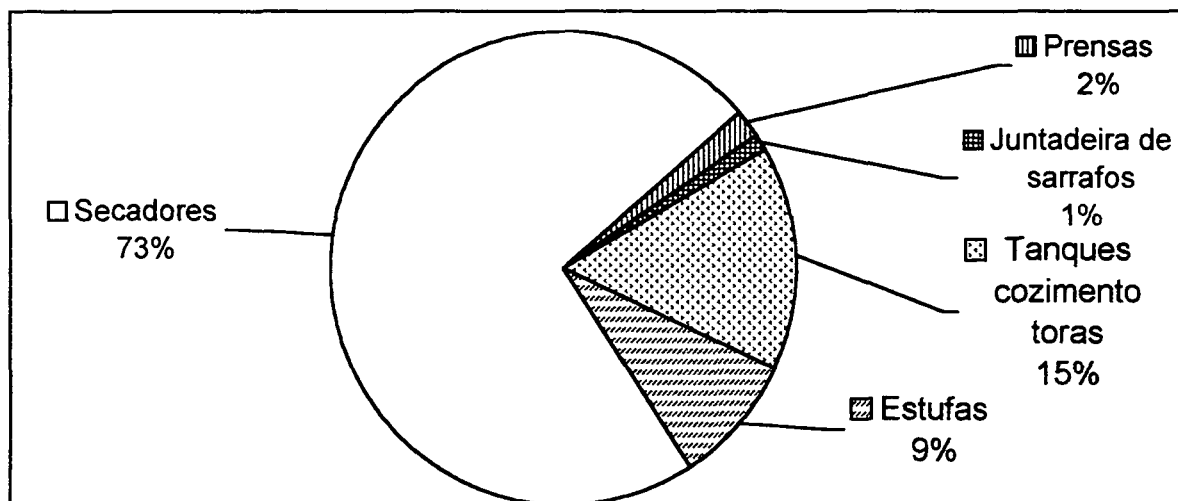
Os equipamentos consumidores e a demanda de energia térmica para cada um deles estão apresentados na Tabela 38. A participação relativa por parte de demanda é apresentado na Figura 27.

TABELA 38. CONSUMO MÉDIO DE VAPOR E ENERGIA TÉRMICA POR EQUIPAMENTOS

EQUIPAMENTOS	Kg de Vapor/ $\text{m}^3$	Mcal/ $\text{m}^3$
Tanques de Aquecimento de Tora <sup>1</sup>	121 (de tora)	114 (de tora)
Estufas	1306 (de sarrafo)	813 (de sarrafo)
Secadores	1716 (de lâmina)	674 (de lâmina)
Prensas	103 (de chapa)	51 (de chapa)
Juntadeira sarrafo	719 (de chapa)	193 (de chapa)

<sup>1</sup> Tanques de aquecimento de madeira em tora (8 unidades) com capacidade individual aproximada de  $20 \text{m}^3$

FIGURA 27. CONSUMO RELATIVO DE ENERGIA TÉRMICA POR EQUIPAMENTOS



Procurou-se relacionar a demanda de energia térmica pelo produto intermediário do processo industrial. Assim, o consumo do tanque de cozimento a vapor é influenciado pelo volume de toras a ser laminadas; o consumo dos secadores é relacionado por volume de lâminas secas; na juntadeira de sarrafos foi relacionado com o volume de compensado sarrafeado e, finalmente, na prensagem considerou o volume total de compensado produzido.

Os secadores consubstanciam o ponto de maior demanda, sendo responsáveis por 73% do consumo de energia térmica na indústria de compensado. O segundo ponto de demanda de energia térmica é relativo ao cozimento das toras em tanques com 15%.

#### 4.3.3 Energia Química

##### Fontes de energia

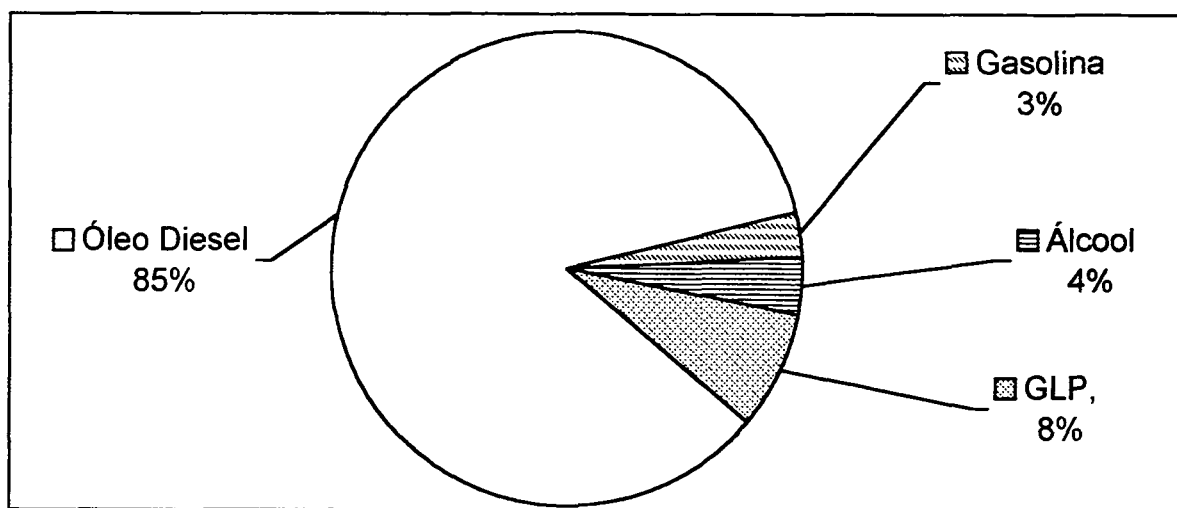
As fontes de energia química encontradas em uso na indústria são centradas nos combustíveis derivados de petróleo como o óleo diesel, a gasolina, o gás liquefeito de petróleo (GLP) e mais o álcool oriundo da cana-de-açúcar. A energia química é utilizada da laminação até o mercado distribuidor dos produtos, considerados, para este estudo, a cidade

de São Paulo e os portos de Paranaguá, no Paraná e de São Francisco do Sul, em Santa Catarina.

Como pode ser observado na Figura 28, o principal combustível é o óleo diesel, usado, principalmente, nos caminhões e tratores. A gasolina e o álcool são combustíveis menos importantes, utilizados em veículos menores e representam uma pequena parcela do total dos combustíveis. O gás liquefeito de petróleo, o GLP, estava sendo utilizado nas empilhadeiras, que é um equipamento muito utilizado no interior da indústria para movimentação de materiais.

A energia química é utilizada em todos os setores da indústria que necessitam qualquer tipo de transporte mecânico como para movimentação de toras no pátio, transporte de produtos entre a laminadora e a fábrica, movimentação de materiais diversos no interior das unidades industriais (laminadora e fábrica) e no transporte de resíduos e lenha para abastecimento das caldeiras.

FIGURA 28. TIPOS DE COMBUSTÍVEIS E PARTICIPAÇÃO NA INDÚSTRIA E NA DISTRIBUIÇÃO DOS PRODUTOS



#### Consumo Global

Os resultados globais do consumo médio de energia química por unidade e por tipo de combustível na indústria e na distribuição de produtos são apresentados na Tabela 39. A

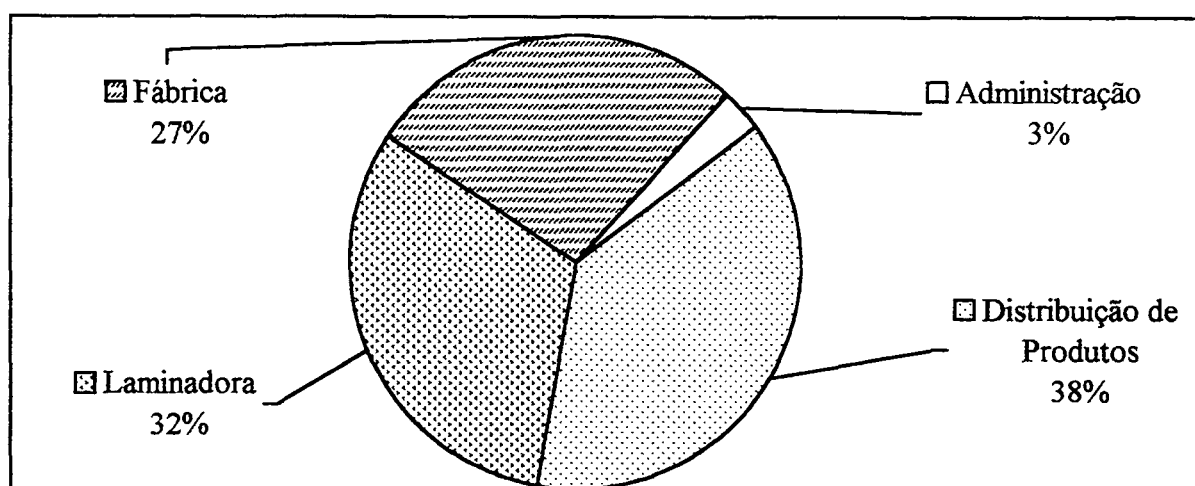
participação relativa média do consumo total é mostrada na Figura 29. Estes resultados se refere aos dados coletados na série histórica de 26 meses entre 1995 e 1997.

TABELA 39. CONSUMO DE ENERGIA QUÍMICA POR UNIDADE E POR TIPO DE COMBUSTÍVEL NA INDÚSTRIA E NA DISTRIBUIÇÃO DE PRODUTOS

UNIDADE	COMBUSTÍVEL	CONSUMO (Litros/mês)				Energia Química equivalente		
		Média	D. P.	Máximo	Mínimo	Mcal/mês	Mcal/m <sup>3</sup>	Litros/m <sup>3</sup>
Laminadora (Lâmina verde)	Óleo Diesel	3711,0	869,4	5015	1720,0	33988,5	34,8	3,78
	Gasolina	96,8	34,9	162	37,0	806,3	0,8	0,05
	Álcool	128,3	47,7	221	19,1	691,8	0,7	0,07
Fábrica (Compensado)	Óleo Diesel	3580	626,7	5130,3	2789,0	32792,1	28,1	3,05
	Gasolina	57,1	12,2	87,1	35,1	475,7	0,4	0,04
	Álcool	97,3	48,6	188,2	22,0	524,9	0,5	0,05
	GLP <sup>1</sup>	1669	400,9	2640,0	1060,0	19610,7	16,8	1,82
Distribuição <sup>2</sup>	Óleo Diesel	9583,8	2645,9	13999,0	3776,0	87779,0	65,0	7,05
Administração	Gasolina	373,0	201,1	818,0	143,0	3015,2	2,6	0,28
	Álcool	552,5	275,6	1065,0	95,8	2972,3	2,5	0,27
TOTAL <sup>3</sup> (por compensado)		19849	-	-	-	182656	170,1	18,4

<sup>1</sup> Kg de gas/m<sup>3</sup>; <sup>2</sup> refere-se entrega de produtos acabado na cidade de São Paulo e Portos; <sup>3</sup> com base em óleo diesel e inclui o equivalente de energia necessária na produção e secagem de lâminas de terceiros.

FIGURA 29. CONSUMO RELATIVO DE ENERGIA QUÍMICA NA INDÚSTRIA E NA DISTRIBUIÇÃO DE PRODUTOS





Com base nos dados obtidos, o consumo global de energia química verificado na indústria foi cerca de 18,4 litros (base óleo diesel)/m<sup>3</sup> de compensado, que corresponde a cerca de 170,1Mcal/m<sup>3</sup>.

A literatura consultada disponibiliza poucos resultados referente ao consumo de combustível na indústria de compensado. A maioria dos valores encontrados se referem a colheita e ao transporte.

Os resultados de KOCH (1976) mostram que no transporte de toras necessitam-se cerca de 150Mcal de óleo diesel por tonelada seca, resíduos florestais 135Mcal tonelada seca e para cavacos cerca de 190Mcal por tonelada seca. Em outros resultados de KOCH (1976) e também de PINGREY (1976), onde são relatados o consumo de energia química requerida na manufatura de dez tipos de produtos florestais, foi encontrado valor entre 31 e 54litros de óleo diesel por tonelada transportada para os diferentes produtos. Já para a indústria de compensado, aqueles autores observaram um consumo entre 20 e 26 litros/m<sup>3</sup> de compensado, que correspondem entre 185 e 243Mcal/m<sup>3</sup>. Estes valores são superiores aos resultados globais de energia química encontrados no presente estudo. Os menores valores encontrados se devem ao fato de não incluir o transporte de toras entre a floresta e o pátio da indústria. Os resultados deste estudo se consideram a movimentação de toras já no pátio da unidade de laminação e incluem a distribuição de produtos acabados. Por este motivo, estes resultados não são comparáveis com os citados em literatura.

Observa-se que o consumo de combustíveis na laminadora e na fábrica foram semelhantes em termos quantitativos. Na laminadora há uma grande demanda de energia química destinada para movimentação das toras no pátio e no transporte de resíduos para o abastecimento da caldeira. Na fábrica de compensado, além do transporte da biomassa em maior quantidade para a cadeira, em relação a laminadora, ocorre o transporte de lâminas entre as duas unidades, com várias cargas por dia. Essa carga de lâmina é caracterizada por material com alta umidade que é transportada em caminhão. Ainda na fábrica foi verificado um consumo de GLP pelas empilhadeiras.

O transporte dos produtos aos centros de distribuição, para efeito deste trabalho, foi definido como sendo a cidade de São Paulo (mercado interno) e os portos de São Francisco do Sul em Santa Catarina e de Paranaguá no Paraná (produto destinado a exportação).

Os resultados apresentados indicam que na laminadora a demanda de combustíveis, com base em óleo diesel, foi da ordem de 4litros/m<sup>3</sup> de lâminas produzidas ou o equivalente a 36,3Mcal/m<sup>3</sup>. Na fábrica de compensado foi observado um consumo médio de cerca de

5litros/m<sup>3</sup> de compensado, ou seja, 45,8Mcal/m<sup>3</sup>. Para o transporte na distribuição dos produtos acabados foi encontrado um consumo médio de 7litros/m<sup>3</sup> de compensado (65Mcal/m<sup>3</sup>).

Observa-se que o maior consumo (38%) da energia química é destinada a distribuição dos produtos nos pontos de entrega definidos neste estudo. Somadas, as duas unidades industriais (laminadora e fábrica) consomem cerca de 59%, enquanto o setor de administração utiliza 3% da energia química.

### Consumo por Setor

Os resultados referentes ao consumo de energia química por setores da indústria são apresentados na Tabela 40. A participação relativa por setor é mostrada na Figura 30.

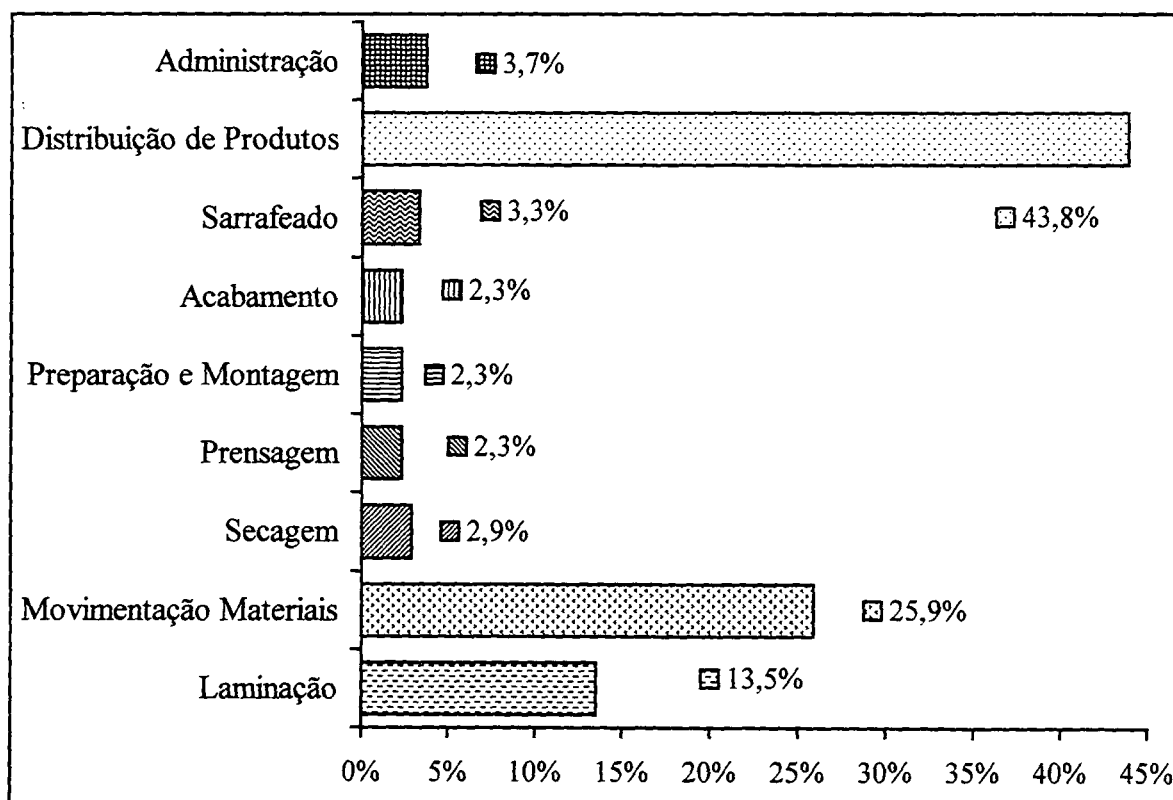
Com base nos dados apresentados, verifica-se que em todos os setores da indústria se utiliza da energia química. O setor de secagem, que é responsável por parte do grande consumo de energia elétrica e térmica, é um dos menores consumidores de energia química.

TABELA 40 . CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA QUÍMICA POR SETOR

SETOR	Combustível <sup>1</sup>		Energia Química Equivalente	
	Litros/mês	Litros/m <sup>3</sup>	Mcal/mês	Mcal/m <sup>3</sup>
Laminação <sup>a</sup>	2679	2,7	24537	25,1
Secagem	655	0,7	5276	7,8
Preparação Montagem	457	0,4	4186	3,8
Prensagem	457	0,4	4186	3,8
Acabamento	548	0,5	5019	4,6
Sarrafeado <sup>b</sup>	576	0,6 <sup>2</sup>	5999	5,1
Movimentação de Materiais	5141	4,4	47086	40,4
Administração	724	0,6	6723	5,8
Distribuição de Produtos <sup>c</sup>	8602	6,4	78786	58,3

<sup>1</sup>Considerou-se somente o óleo diesel; <sup>a</sup>, <sup>b</sup> e <sup>c</sup>, respectivamente, unidade por volume de lâminas, sarrafeado e produtos (lâminas secas + compensados) entregues em São Paulo e Portos.

FIGURA 30. PARTICIPAÇÃO RELATIVA DO CONSUMO DE ENERGIA QUÍMICA POR SETOR



Os setores relacionados com a movimentação dos materiais e o transporte de produtos acabados são, destacadamente, os de maior demanda deste insumo energético. Somados, eles são responsáveis por cerca de aproximadamente 70% do uso geral de energia química na indústria. A movimentação de materiais é formada, principalmente, pela movimentação de biomassa para queima nas caldeiras, manuseio de toras e transporte de lâminas entre a laminadora e a fábrica, dentre outros.

Com base no consumo de energia química observado neste estudo, referente a distribuição de produtos acabados e considerando a distância média do transporte, foi encontrada uma relação média de 2,2Mcal/Km. Este resultado é cerca de 22% acima que o verificado por ELLIS (1982). Este autor menciona o consumo entre 1,7 a 1,9Mcal/Km considerando carreta para a distância de transporte num raio de 100Km. A justificativa para o maior consumo encontrado neste estudo se deve a condições de veículos e estradas, e tratando-se de realidade distintas em relação a outros países.

#### 4.3.4 Energia Humana

##### Consumo Global

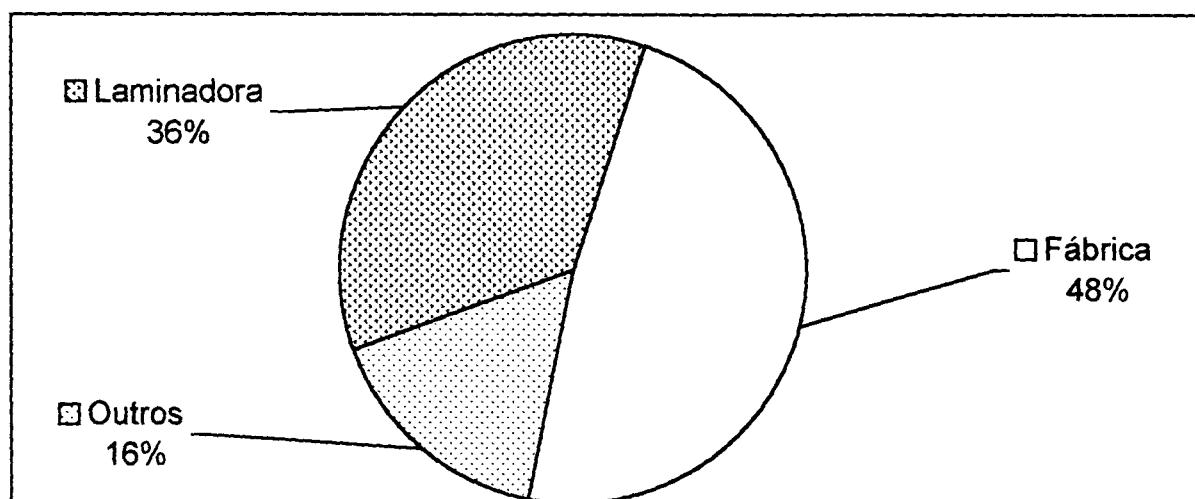
Os resultados médios de utilização de mão-de-obra e o equivalente consumo de energia humana na indústria de compensado são mostrados na Tabela 41. A participação do consumo relativo médio é apresentada na Figura 31.

TABELA 41. RESULTADOS MÉDIOS DE DEMANDA DE MÃO-DE-OBRA E DE CONSUMO DE ENERGIA HUMANA

UNIDADE	MÃO-DE-OBRA (Nº Indivíduos/mês)				ENERGIA HUMANA EQUIVALENTE		
	Média	D. P.	Máximo	Mínimo	HH <sup>1</sup> /m <sup>3</sup>	Kcal/mês	Kcal/m <sup>3</sup>
Laminadora	61	6	80	41	12,5 <sup>2</sup>	5303	5,43 <sup>2</sup>
Fábrica	80	7	95	62	18,4 <sup>3</sup>	7151	8,23 <sup>3</sup>
Outros	25	3	32	19	4,3 <sup>3</sup>	2443	2,10 <sup>3</sup>
Total <sup>4</sup>	166	-	-	-	39,4 <sup>3</sup>	14897	17,6 <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Hora homem de trabalho; <sup>2</sup> por m<sup>3</sup> de lâmina verde e <sup>3</sup> por m<sup>3</sup> de compensado, incluído o consumo de energia necessário para lâmina de terceiros.

FIGURA 31. PARTICIPAÇÃO MÉDIA DO CONSUMO RELATIVO DE ENERGIA HUMANA



Os dados obtidos indicam que o consumo global de energia através da ingestão de alimentos por parte dos funcionários vinculados a industrialização do compensado na indústria estudada foi de  $17,6\text{Kcal/m}^3$  de compensado ou equivalente, em termos de produtividade de homem por unidade produzida, a cerca de  $39\text{horas/m}^3$ . Esta quantia está distribuída da seguinte maneira: 44% na laminadora; 47% na fábrica de compensado e o restante entre funcionários ligados a administração, manutenção das unidades industriais e transporte dos produtos acabados (Figura 31).

A produtividade média observada de 39 horas homem/ $\text{m}^3$ , mas nos últimos meses da pesquisa este valor foi reduzido em cerca de 50%. O valor observado é semelhante ao encontrado por BALDWIN (1975) e maior que o informado por SCHEFFLER (2001). Este autor informa a produtividade de 15 a 20 horas homem/ $\text{m}^3$  de compensado ( $13\text{-}15\text{m}^3/\text{mês/pessoa}$ ). Um dos motivos para a maior demanda de mão-de-obra média se deve a pouca mecanização verificada em alguns setores da indústria.

Com base nos resultados denota-se uma relação entre energia despendida pelo trabalho humano de cerca de  $5,4\text{Kcal/m}^3$  de lâminas obtidas na laminadora. Na fábrica chegou a uma relação de cerca de  $8,2\text{Kcal/m}^3$  de compensado produzido. A energia humana global demandada para produção industrial foi de cerca de  $17,6\text{Kcal/m}^3$  de compensado (Tabela 41).

Na literatura não foram encontrados dados sobre o consumo de energia humana na indústria de compensado. A título de exemplo pode-se mencionar os resultados de OLIVEIRA & SEIXAS (1985), segundo os quais, numa atividade essencialmente braçal que é a utilização de moto-serra para corte de madeira e empilhamento, encontraram uma relação de cerca de  $33\text{Kcalorias/m}^3$  de madeira de *Pinus*. Partindo do princípio que a maioria das atividades florestais estão relacionadas como trabalho moderado a pesado (OLIVEIRA & SEIXAS, 1985; FAO, 1990; SEIXAS, 1991), os resultados obtidos neste estudo indicam que a demanda de esforço humano é relativamente pequena e estão dentro dos parâmetros de recomendações da ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO (1968).

#### Consumo por Setor

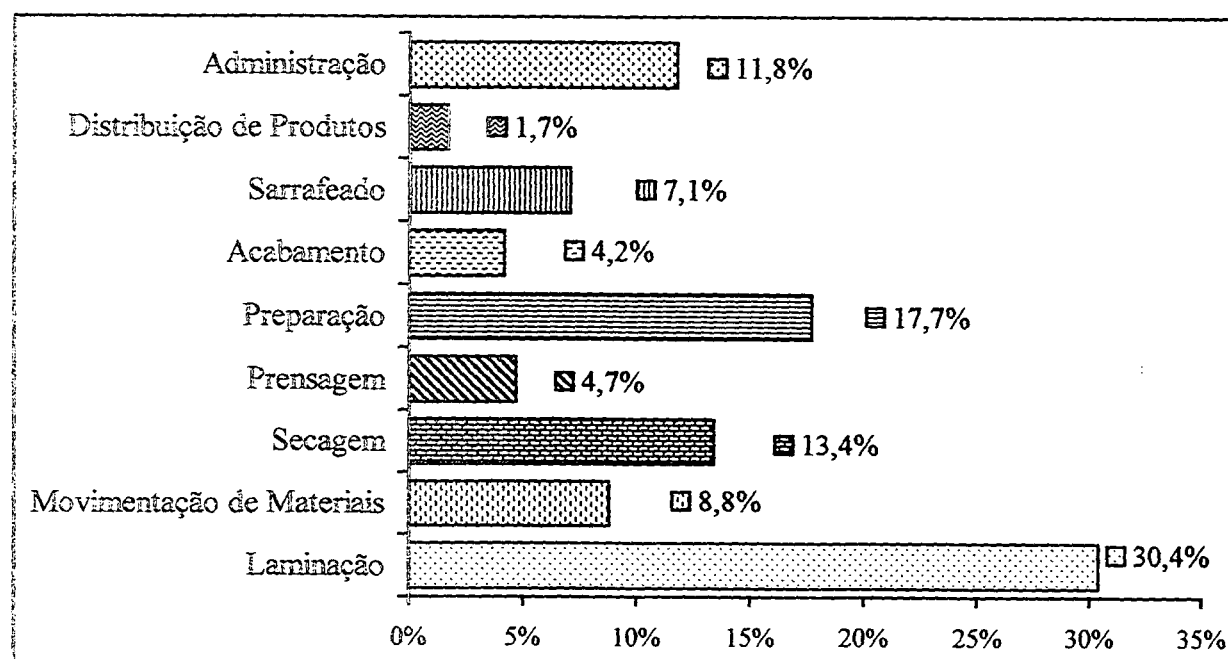
Os resultados de uso médio de mão-de-obra e o equivalente ao consumo energia humana por setor da indústria são apresentados na Tabela 42. A participação relativa dos setores no consumo de energia humana é mostrada Figura 32.

TABELA 42. CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA HUMANA POR SETOR

SETOR	MÃO-DE-OBRA (Nº indivíduos/mês)	ENERGIA HUMANA EQUIVALENTE		
		HH <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	(Kcal/mês)	(Kcal/m <sup>3</sup> )
Laminação	50	8,6	4529	4,63 <sup>1</sup>
Secagem	22	3,8	1996	1,15 <sup>1</sup>
Preparação e Montagem	30	5,2	2667	2,29
Prensagem	8	1,4	700	0,60
Acabamento	7	1,2	626	0,54
Sarrafeado	12	2,1	1058	0,74
Movimentação de Materiais	15	2,6	1311	1,12
Distribuição de Produtos	3	0,5	253	0,22
Administração (Escritório)	20	3,4	1758	1,51

<sup>1</sup> volume de lâminas; <sup>2</sup> Hora homem de trabalho

FIGURA 32. PARTICIPAÇÃO RELATIVA DOS SETORES NO CONSUMO DE ENERGIA HUMANA



O maior consumo de energia humana se dá no setor de laminação com  $4,63\text{Kcal/m}^3$  que equivale, em termo de produtividade, em 8,6 horas de trabalho humano por metro cúbico. Este maior consumo se explica pela necessidade de trabalho manual e auxiliar em várias operações como manuseio de toras nos tanques de aquecimento e nos tornos laminadores. A classificação das lâminas, também, estava sendo realizada também de forma manual. O uso de equipamentos obsoletos, com operações pouco automatizadas, encontrados naquele setor implicam no uso de mais mão-de-obra mais intensiva. KEINERT JR. (1980) menciona ser comum o uso mais intensivo de mão de obra na laminação de toras. Outro setor de importância quanto ao uso de mão-de-obra é o de preparação e montagem do compensado com demanda de 5,2 horas/homem de trabalho, ou seja,  $2,3\text{Kcal/m}^3$ . Na indústria, este setor é caracterizado pelo baixo emprego de equipamentos mecânicos e elétricos, portanto baixo consumo de energia elétrica e térmica, e por conseguinte, o uso mais intensivo de mão de obra entre os demais setores da fábrica de compensado.

O consumo de energia humana, aparentemente elevado na secagem (cerca de 13,4%, Figura 32) é explicado pela mão de obra necessária aos operadores de caldeiras, que no caso desta forma de energia, foi agregado ao setor de secagem, exigindo trabalho em vários turnos. Os secadores, assim como as caldeiras, estavam sendo alimentados e descarregados manualmente.

O setor de movimentação de materiais e de distribuição de produtos compreendem os tratoristas, motoristas e eventualmente auxiliares necessário ao carregamento dos veículos. Nestes setores foram incluídos os técnicos responsáveis pela manutenção na indústria.

Os setores com menor demanda de energia humana, por ordem crescente, foram a distribuição de produtos, acabamento e prensagem.

Em termos de produtividade, os setores com menor relação entre horas homens trabalhadas por produção, são o de acabamento e o de distribuição de produtos. No acabamento do compensado os principais equipamentos são a esquadrejadeira e a lixadeira, com operações mecânicas. Para a distribuição dos produtos a demanda de mão-de-obra básica se deve aos condutores de empilhadeiras e carretas.

#### 4.3.5 Consumo Energético Global

##### Consumo Primário

A fase de conversão primária para a indústria de compensado compreende a transformação de toras em lâminas e em sarrafos, conforme mencionam KEINERT JR. (1980), MARRA (1964) e ALABAMAS FOREST INDUSTRIES (1990).

No caso específico deste estudo, o processo produtivo observado nesta fase primária da indústria de compensado inclui as seguintes operações: recebimento e preparação de toras, produção de lâminas e de sarrafos, produção de vapor em caldeira fogotubular destinada especialmente para o cozimento de toras em tanques de alvenaria; transporte de cargas de produtos intermediários do processo industrial como as lâminas, os sarrafos e resíduos. Os resíduos incluem a casca, lâminas úmidas descartadas e serragem para uso energético.

Os resultados encontrados no presente trabalho mostram que o consumo global de energia na fase de conversão primária foi de 425,1Mcal/m<sup>3</sup> de lâmina verde (Tabela 43).

Entre as formas de energias avaliadas, o maior consumo ocorreu em energia térmica, representando cerca de 87% do consumo primário (Figura 33). Este consumo representa em 396Kg de vapor/m<sup>3</sup> de compensado ou o equivalente a 372Mcal/m<sup>3</sup> do produto (Tabela 43).

TABELA 43. CONSUMO TOTAL DE ENERGIA POR TIPO NA FASE DE CONVERSÃO PRIMÁRIA

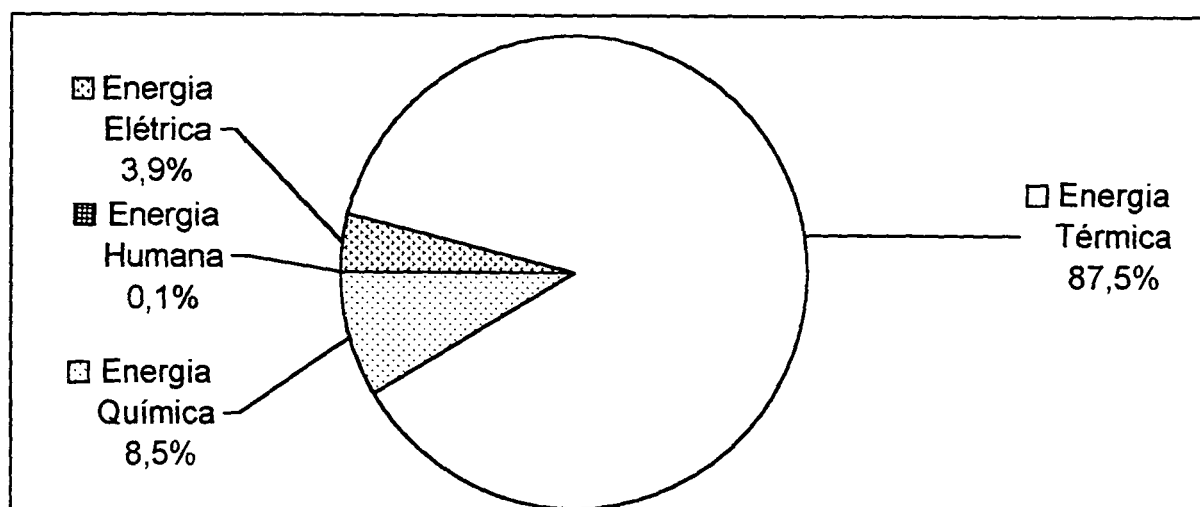
TIPO DE ENERGIA	QUANTIDADE POR M <sup>3</sup> DE LÂMINAS VERDE	ENERGIA EQUIVALENTE (Mcal/m <sup>3</sup> )
ENERGIA ELÉTRICA	19,2Kwh	16,5
ENERGIA TÉRMICA	396 Kg de vapor	372,3
ENERGIA QUÍMICA	3,70Litros óleo diesel	36,3
ENERGIA HUMANA	14,6 Horas homem de trabalho	6,6 x 10 <sup>-3</sup>
TOTAL	-	425,1



Por ordem de importância a segunda e terceira formas de energia consumida foram a energia química e a elétrica, com valores pequenos em relação a energia térmica. Para as duas formas o consumo de energia encontrado foi de respectivamente  $19,2 \text{ Kwh/m}^3$  ( $16,5 \text{ Mcal/m}^3$ ) e de 3,7 litros de óleo combustível/ $\text{m}^3$  ( $36 \text{ Mcal/m}^3$ ), que somadas representaram cerca de 13% do consumo primário (ver Figura 33).

A participação da energia humana foi menor que 1% do consumo da fase de conversação primária, representando-se  $6,6 \times 10^{-3} \text{ Mcal/m}^3$  de lâminas, ou seja, em termos de tempo de trabalho gasto, equivale a 15 horas homem/ $\text{m}^3$  de produto.

FIGURA 33. CONSUMO RELATIVO DE ENERGIA NA FASE DE CONVERSÃO PRIMÁRIA EM RELAÇÃO A PRODUÇÃO DE LÂMINA VERDE



#### Consumo Secundário

A fase de conversão secundária para a indústria do compensado se refere à formação das chapas, partindo da madeira laminada seca para produzir o compensado multilaminado e da madeira em sarrafeos para obter o compensado sarrafeado (KEINERT JR., 1980; ALABAMAS FOREST INDUSTRIES, 1990; MARRA, 1960 e WALKER, 1990). Mas no caso do presente estudo, o consumo de energia para a secagem de lâminas está incluído nesta fase de conversão secundária.

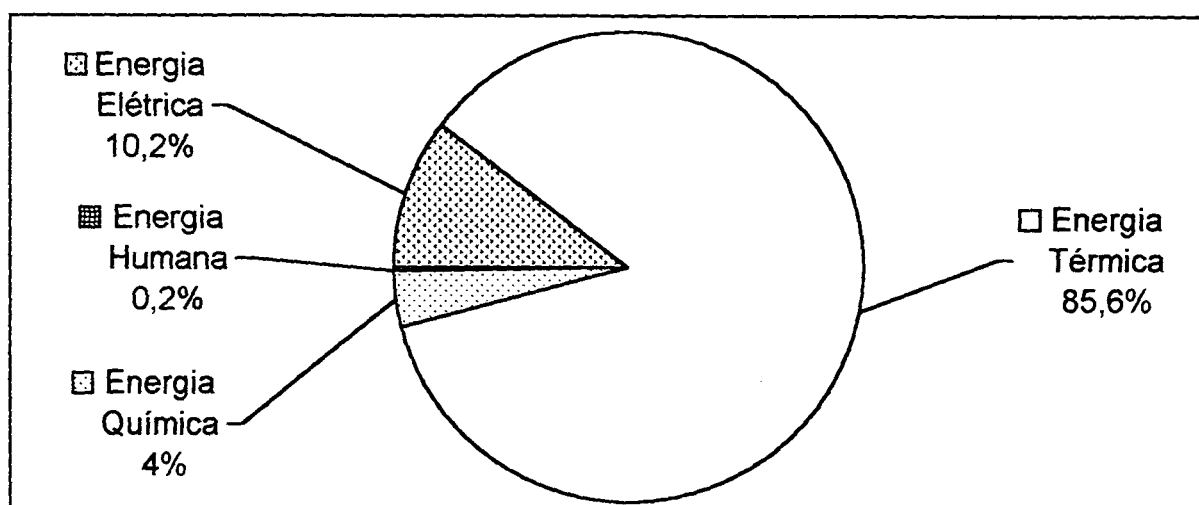
Os resultados do consumo de energia por tipo e por metro cúbico de compensado estão apresentados na Tabela 44. A participação relativa para cada tipo de energia é mostrada graficamente na Figura 34.

TABELA 44. CONSUMO TOTAL DE ENERGIA POR TIPO NA FASE DE CONVERSÃO SECUNDÁRIA

TIPO DE ENERGIA	QUANTIDADE POR M <sup>3</sup> DE COMPENSADO	ENERGIA EQUIVALENTE (Mcal/m <sup>3</sup> )
ENERGIA ELÉTRICA	187,1Kwh	160,8
ENERGIA TÉRMICA	1435,0 Kg de vapor	1349,3
ENERGIA QUÍMICA <sup>1</sup>	7,0Litros óleo diesel	62,8
ENERGIA HUMANA	16,4Horas homem de trabalho	7,5x 10 <sup>-3</sup>
TOTAL	-	1572,9

<sup>1</sup> Não está incluído o consumo referente a distribuição de produtos acabados

FIGURA 34. CONSUMO RELATIVO DE ENERGIA NA FASE DE CONVERSÃO SECUNDÁRIA



Para o cálculo dos valores apresentados foi considerado o consumo de energia referente a secagem de lâminas próprias e de terceiros.

O consumo global de energia na fase de conversão secundária da indústria de compensado foi de  $1572,9 \text{ Mcal/m}^3$  de produto acabado.

Entre as formas de energia avaliadas na fase de conversão secundária, sobressai o consumo de energia térmica representando cerca de 86% do total (Figura 34). Esta forma de energia é consumida primordialmente no setor de secagem. Nesta forma de energia o resultado médio encontrado foi de cerca de  $1349 \text{ Mcal/m}^3$  de compensado produzido (Tabela 44).

A segunda forma de energia mais empregada na fase secundária ou industrialização final do compensado é a energia elétrica, com participação pouca expressiva de cerca de  $160 \text{ Mcal/m}^3$  ou, em termos relativos, o equivalente a 10,2% da demanda total. O consumo de energia elétrica no processamento secundário se situa superior ao verificado, em termos de participação relativa, na primeira fase da industrialização do compensado.

A utilização da energia química foi pequena nesta segunda fase do processamento do compensado, representando cerca 4% do total. Na primeira fase a participação relativa maior. O principal destaque do uso da energia química são as empilhadeiras, tratores e caminhões. Nesta fase secundária foi verificado a contribuição do GLP, como fonte de energia, para suprimento das empilhadeiras utilizadas para movimentação de cargas na fábrica de compensado.

O emprego da energia humana médio foi cerca de  $7,5 \times 10^{-3} \text{ Mcal/m}^3$  de compensado ou o equivalente a 16 horas homem/ $\text{m}^3$  de compensado. No cômputo geral do uso de energia da fase em discussão, a energia humana é muito pequena em relação às outras formas, com menos de 1% do total (Figura 34).

Ao se comparar as Tabelas 43 e 44, observa-se que para consumo energético global, que cerca de 72% ocorre na segunda fase da fabricação do compensado. Isto se deve ao processo de secagem.

### Consumo Total de Energia

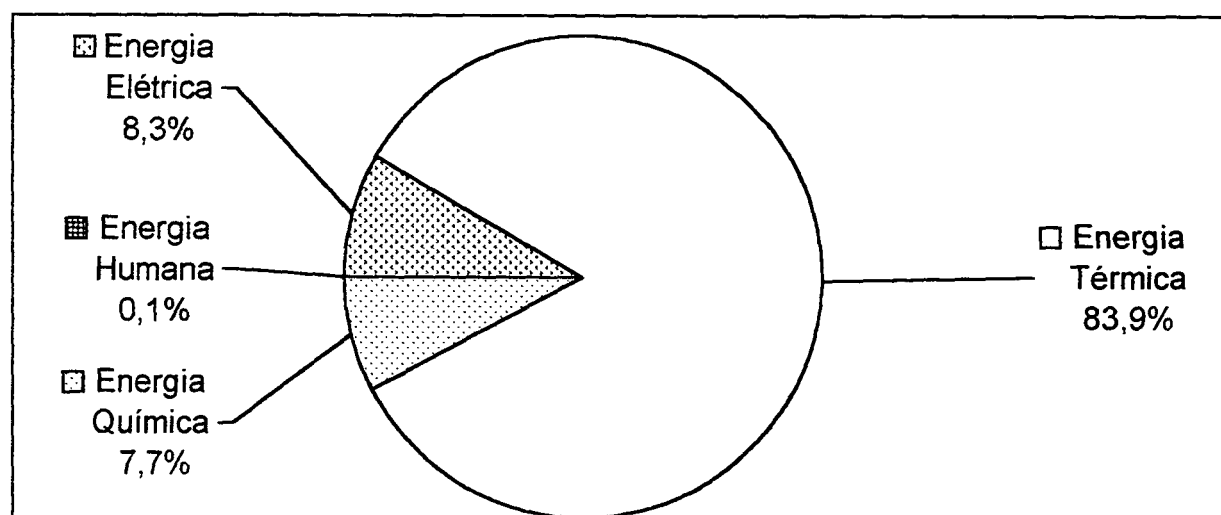
Os resultados obtidos no presente estudo, conforme demonstrado na Tabela 45, indicam que o consumo total na indústria, representado pelo somatório das formas de energia térmica, química, elétrica e humana, foi  $2201,2 \text{ Mcal/m}^3$  de compensado. Conforme a Figura 35, deste valor, 84% é representado pela energia térmica. As formas de energia

elétrica e química se apresentaram de maneira semelhante, respectivamente, com 8,3 e 7,7%. A energia humana representa apenas 0,1%.

TABELA 45. CONSUMO TOTAL POR TIPO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA

TIPO DE ENERGIA	QUANTIDADE POR M <sup>3</sup> DE COMPENSADO	ENERGIA EQUIVALENTE (Mcal/m <sup>3</sup> )
ENERGIA ELÉTRICA	212,8Kwh	182,9
ENERGIA TÉRMICA	1923 Kg de vapor	1848,2
ENERGIA QUÍMICA	18,4 Litros óleo diesel	170,1
ENERGIA HUMANA	39,4 Horas homem de trabalho	17,6 x 10 <sup>-3</sup>
TOTAL	-	2201,2

FIGURA 35. CONSUMO TOTAL RELATIVO POR TIPO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA



Foi verificado o consumo total médio para energia térmica foi de 1848,2Mcal/m<sup>3</sup>. Para energia química foi de 170,1Mcal/m<sup>3</sup> de compensado, ou seja, o equivalente a 18,4 litros de óleo diesel, enquanto para energia elétrica foi de 212,2Kwh/m<sup>3</sup> de compensado, eqüivalendo a 182,9Mcal/m<sup>3</sup>. Na energia humana foi encontrado cerca de 18Mcal/m<sup>3</sup>, que

em termos de tempo de trabalho foi necessário 39 horas homem/m<sup>3</sup> de compensado produzido.

O resultado do consumo global de energia é superior aos encontrados por Zerbe citado por LEVELTON & ASSOCIATION (1978), FUNG (1982), COMSTOCK (1975), EKONO YO (1980) e FAO (1991), situados entre 1310 e 1460 Mcal/m<sup>3</sup> de compensado. Esses autores, contudo, referem-se apenas as formas de energia térmica e elétrica, ou seja, não foram incluídas energia química e humana.

Mas, por outro lado, o valor encontrado de 2201,2 Mcal/m<sup>3</sup>, é semelhante aos resultados observados nos trabalhos de KOCH (1976) e PINGREY (1976), respectivamente, 1994 Mcal/m<sup>3</sup> para compensado oriundo de madeira de folhosas e 2200 Mcal/m<sup>3</sup> de compensado coníferas. Mas estes valores citados não incluem o consumo referente ao consumo de energia química na distribuição dos produtos acabados e a energia humana.

O valor global encontrado para a demanda de energia na produção de compensado na indústria analisada foi elevado, pelos seguintes motivos: a) na maioria dos setores foi observado equipamentos obsoletos e processos ineficientes; b) pouco nível de automação industrial, como se observou, por exemplo, nas caldeiras.; c) uso elevado de energia elétrica reativa devido baixo fator de potência; d) infra-estrutura com problemas na área de logística; e) uso não otimizado dos resíduos produzidos para conversão de energia e f) falta de melhoria e otimização no uso de energia.

Os resultados encontrados para energia térmica é superior a maioria dos valores citados na literatura, como se observa nos de FUNG (1982); EKONO YO (1980); FAO (1991); COMSTOCK (1975); PINGREY (1976) e KOCH (1976).

FUNG (1982) e FAO (1991) verificaram que o consumo de energia térmica foi cerca de 1104 Mcal/m<sup>3</sup> de compensado. Os resultados de COMSTOCK (1975) foi de 1310 Mcal/m<sup>3</sup> e de EKONO YO (1980) 1206 Mcal/m<sup>3</sup>. Por sua vez KOCH (1976) e PINGREY (1976) observaram valores menores, 810 Mcal/m<sup>3</sup>, para compensado oriundo de coníferas e, valores maiores, 1578 Mcal/m<sup>3</sup>, para compensado de folhosas.

Para diversos autores o maior consumo na indústria de compensado é de energia térmica. Ela representa uma participação relativa de 76% para KOCH (1976), 82% para JUNGE (1975), 84% para EKONO YO (1980) e FAO (1991) e 87-88% para OLIVER (1975) e ELLIS (1982), quando comparada com o consumo de outras formas energia utilizada na fabricação de compensado. Este comportamento majoritário do uso de energia térmica, conforme BROWN e BETHEL (1965) e BALDWIN (1984), mostra a importância

do uso do vapor produzido nas caldeiras da indústria de compensado. Ademais, reflete a possibilidade de aplicação dos resíduos de biomassa do próprio processo produtivo para conversão energética, de certa forma, a um custo mais favorável que as demais fontes energéticas (TILLMAN, 1978; COMSTOCK, 1975; TUSET e DURAN, 1979; MUENCH, 1975; OLIVER, 1975; FAZZIO, 1982).

### Consumo Total por Setor

Os resultados do consumo total de energia por setor da indústria de compensado são apresentados na Tabela 46..

TABELA 46. CONSUMO DE ENERGIA POR SETOR NA INDÚSTRIA

SETOR	QUANTIDADE POR M <sup>3</sup> DE COMPENSADO	
	Mcal/m <sup>3</sup>	%
Laminação <sup>1</sup>	293,9	17,9
Geração de vapor	11,7	0,5
Secagem	1616,4	73,5
Preparação	4,9	0,2
Prensagem	37,9	1,7
Acabamento	14,8	0,7
Sarrafeado	15,4	0,7
Movimentação Materiais	40,4	1,8
Distribuição Produtos	58,6	2,7
Administração	7,2	0,3
Total (por compensado)	2201,1	100,0

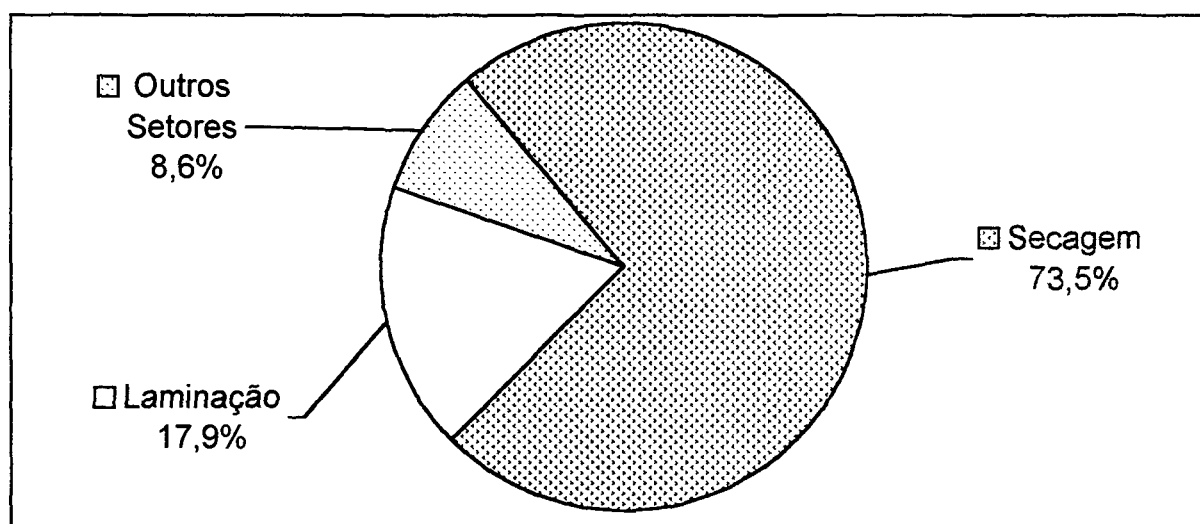
<sup>1</sup> Por m<sup>3</sup> de lâminas verdes

O setor de maior consumo de energia na indústria foi o de secagem com 1616,4Mcal/m<sup>3</sup> de compensado, seguido pelo de laminação com 293,9Mcal/m<sup>3</sup> de lâmina verde, que equivale a 394Mcal/m<sup>3</sup> de compensado. Os demais setores tem participação pequena no consumo total de energia.

Na literatura os resultados de consumo na sua maioria são referente ao total de energia ou, quando por tipo, refere-se mais a energia térmica. Portanto não foi encontrado valores de consumo total de energia por setor para servir de confrontação com os dados obtidos neste estudo. Com base no trabalho de OLIVER (1975) e de Zerbe citado por LEVELTON e ASSOCIATES (1978) é possível deduzir que os resultados encontrados de consumo de energia, nos dois setores de maior demanda (secagem e laminação), apresentam valores próximos do esperado. Estes autores mencionam a relação de consumo de energia de quatro para um entre estes setores. Também OVEREND e SILVERSIDES (1980) citam que o consumo no setor de secagem é maior em relação a laminação.

A participação relativa do consumo total de energia por setor da indústria de compensado é mostrada na Figura 36.

FIGURA 36. CONSUMO GLOBAL RELATIVO DE ENERGIA POR SETOR



De maneira muito destacada, observa-se que cerca de 73% do consumo total de energia se dá na secagem das lâminas. Este valor percentual está situado entre os resultados de autores como COMSTOCK (1975), ELLIS (1982) e B. H. LEVELTON & ASSOCIATES (1978), para os quais, o consumo de energia na secagem de lâminas é cerca de 70% do consumo total e de OLIVER (1975) que menciona em cerca de 80%.

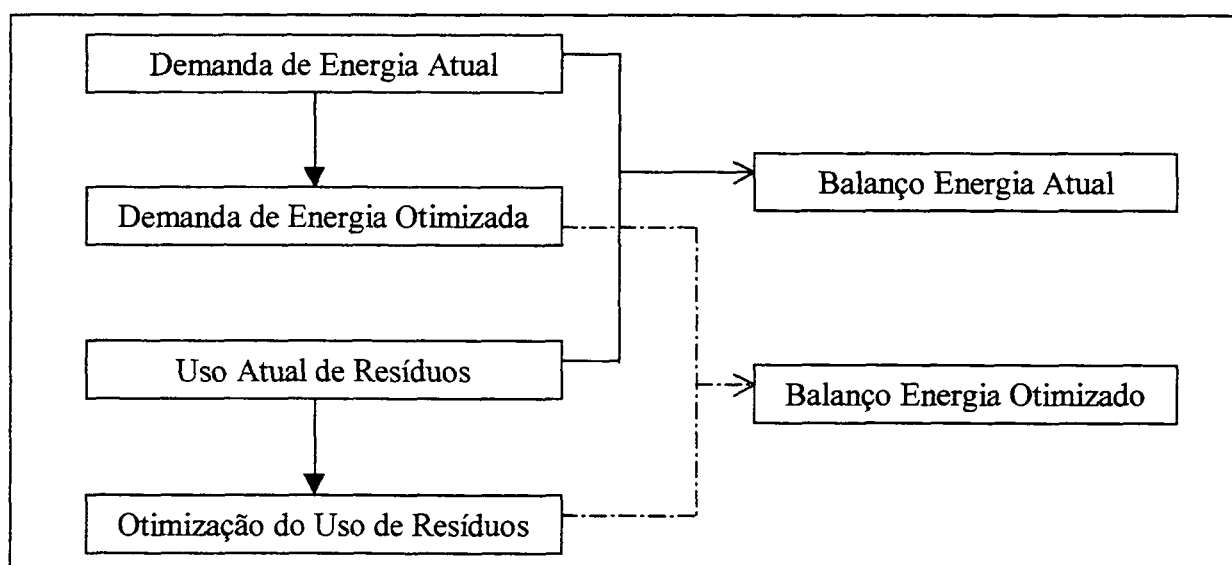
Em termos mais gerais, conforme se observa na Figura 36, os setores de secagem e de laminação, conjuntamente, representam cerca de 90% do consumo total de energia na indústria de compensado.

#### 4.4 OTIMIZAÇÃO NO BALANÇO ENERGÉTICO

Apresenta-se a seguir um exercício sobre a possibilidade de otimização do consumo de energia na indústria de compensado.

Para o desenvolvimento de tal exercício, conforme mostra a Figura 37, foi considerada a alternativa otimizada da demanda de energia e também do uso dos resíduos gerados na indústria.

FIGURA 37. POSSIBILIDADE DE OTIMIZAÇÃO ANALISADA



##### 4.4.1 Otimização do Consumo Atual

A demanda otimizada é obtida pela redução do consumo de energia nos vários pontos de consumo anteriormente identificados. As possibilidades de redução são dadas separadamente para os tipos de energia térmica, elétrica e química considerados neste estudo. Para a energia humana não se fez prognóstico de otimização do consumo atual, pois este se apresentou muito pequeno, representando menos de 1% do total.



### Energia Térmica

A minimização mais factível de obter é de energia térmica em face das possibilidade de melhoria nos pontos de produção de vapor e de seu uso: a) produção de vapor – melhoria na eficiência da caldeira devido sua atualização tecnológica e utilização de combustível com menor teor de umidade; b) uso do vapor – aumento no rendimento de equipamentos como os secadores, tanques de aquecimento de tora e prensas, e diminuição de perdas através de isolamentos da rede de distribuição do vapor; c) e por ser também responsável por cerca de 84% do consumo total.

Os resultados de consumo de energia térmica deste estudo indicam ser necessário 1848Mcal/m<sup>3</sup> de compensado.

Conforme apresentado anteriormente em fábrica similar tem consumo de energia térmica menor. KOCH (1976) e PINGREY (1976) encontraram consumo médio de 1580Mcal/m<sup>3</sup> de compensado de folhosa. Valores menores são apresentados por EKONO (1980) e COMSTOCK (1975), respectivamente, 1100Mcal/m<sup>3</sup> e 1180Mcal/m<sup>3</sup> de compensado de coníferas. O trabalho de EKONO YO (1980) se reporta a indústria de pequeno e médio porte. A indústria estudada no presente trabalho foi classificada como de médio porte.

Isto indica que é possível reduzir entre 15 e 40% o consumo de energia térmica para a indústria analisada no Sul do Brasil.

As possibilidade de redução no consumo de energia térmica são citadas em várias literaturas. Dados publicados sobre o ganho no consumo de energia térmica estão apresentados na Tabela 47.

Esta possibilidade de redução são resultados de maior eficiência na caldeira e melhor controle no processo industrial.

A melhoria na eficiência da caldeira em 10% conforme BALDWIN (1984) e BAZZO (1995) em decorrência da queima de combustível seco. A fim de ilustrar o efeito negativo do conteúdo de umidade do combustível na eficiência da caldeira, CORDER (1975) e THOMPSON (1975) citam que a produção de vapor de 31818 kg/hora se eleva para cerca de 52272 Kg/hora quando se usa combustível com umidade de 60% e 10%, respectivamente. Isto representa um ganho potencial na produção de vapor de 64%.

TABELA 47. GANHOS POTENCIAIS EM EFICIÊNCIA PELA REDUÇÃO DA UMIDADE

AUTORES	MADEIRA ÚMIDA		MADEIRA SECA		GANHO EM
	Umidade	Eficiência	Umidade	Eficiência	EFICIÊNCIA
	(%b.u.)	(%)	(%b.u.)	(%)	(%)
RESCH (1982)	Úmida	65	Seca	80	15
VANELLI e ARCHIBALD(1975)	60	58	Seca	82	24
KLEINAN e JAIN (1976)	Úmida	47	Seca	80	33
MASSON (1975)	60	60	30	75	15
CORDER (1975)	60	-	10	-	30
THOMPSOM (1975)	68	-	0	-	31

Tendo em vista estes aspectos comentados, coloca-se como meta para atingir numa fábrica moderna uma redução de 30%, em relação aos resultados de consumo de energia térmica encontrados no presente estudo.

A partir desta meta proposta, o resultado otimizado para a demanda de energia térmica seria de 1294Mcal/m<sup>3</sup> de compensado.

### Energia Elétrica

Os resultados de consumo de energia elétrica do presente estudo indicam ser necessários cerca de 213Kwhl/m<sup>3</sup> ou equivalente 183Mcal/m<sup>3</sup> de compensado. Resultado semelhante foi encontrado por EKONO YO (1980) para pequenas e médias indústria de compensado. FUNG (1982) cita que na produção de compensado são necessários entre 160 e 300Kwh/m<sup>3</sup>. Esta dispersão reflete uma série de variáveis existentes nas fábricas de compensado. Entre outras citam tipo de matéria-prima empregada, nível de tecnologia utilizada, porte da indústria e tipos de produtos obtidos. Para condições de fábrica similar a considerada neste estudo, de porte médio e a produção de compensado baseada na espécie de *Pinus* de reflorestamento, com base em FUNG (1982), é possível consumir valores

inferiores de energia elétrica. Menor valor de consumo de energia elétrica é encontrado no trabalho de KOCH (1976) com cerca de 100Kwh/m<sup>3</sup> de compensado de Pinus.

Considerando-se os menores valores citados na literatura de FUNG (1982) e KOCH (1976) para condições de fábrica similar é possível conseguir uma redução de cerca de 25% a 53% do consumo de energia elétrica em relação ao valor encontrado no presente trabalho.

Estas possibilidades de como minimizar o consumo de energia elétrica permite a sua otimização de demanda baseando-se em:

- a) Melhoria no fator de potência, dos atuais 75% e 85%, encontrados nas unidades de laminação e na fábrica de compensado, respectivamente, para próximo de 100%, conforme determina o Decreto 479/92 do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE, 1992) e COPEL (s.d.). Esta melhoria possibilita obter a redução média de energia elétrica de 18,1% e 7,54%, respectivamente, para cada unidade da indústria de compensado analisada neste estudo.
- b) Melhoria no consumo elétrico geral em 7,5%, considerando-se a efetivação de programa permanente de conservação de energia elétrica, que segundo ELETROBRAS (1993), LENGEL (1975) e BOYERS e ECKERLIN (1976) permite obter redução energética situada entre 5% e 10%.
- c) Com base no histórico de resultados alcançados pelo Programa de Conservação de Energia no Setor Elétrico instituído pela ELETROBRÁS, incentivando a sua implantação pelas empresas, tem permitido a obtenção de resultados concretos de ganho relacionado com a redução de energia na indústria brasileira (ELETROBRAS, 1993).

Tendo em vista estes aspectos citados, coloca-se como meta factível de ser atingida para uma indústria moderna situada no Sul do Brasil, uma redução potencial de 35% no consumo de energia elétrica.

Com base nesta meta estabelecida o resultado de consumo de energia elétrica na indústria de compensado seria de cerca de 138Kwh/m<sup>3</sup> de compensado ou equivalente a 119Mcal/m<sup>3</sup>. Este representa o valor de consumo de energia elétrica otimizada.

### Energia Química

O consumo de energia química encontrado no presente estudo foi de 18,4 litros/m<sup>3</sup> de compensado que equivale a 170,1Mcal/m<sup>3</sup>.

Há várias possibilidades que permitem a minimização deste consumo de energia química:

- a) um dos indicativos para melhoria na eficiência na energia química é o consumo de energia por Km transportado de produto acabado. Conforme diagnósticos do item 4.3.3, os estudos indicam que a fábrica consome 22% mais alto em relação aos dados citados por ELLIS (1982).
- b) Os equipamentos de transporte atuais existentes na indústria, na sua maioria, são obsoletos e velhos, especialmente os utilizados na movimentação de materiais nas unidades industriais (laminação e fábrica).
- c) Na distribuição de produtos acabados a melhoria nas estradas e a evolução tecnológica dos veículos (carretas) também podem contribuir para o ganho de energia.

Trabalhos relacionados com as possibilidades de redução no consumo de energia química no setor de transporte são apresentada na literatura. REDDY (1984), UENO (1980), VENTURA (1990) FALCON et al. (1990), JARDIM (1990), AGUIAR (1990) e DOMSCHKE (1990) citam a redução no consumo de combustível situada entre 10 e 22%, quando se alia melhoria na qualidade do combustível, engenharia de veículos e procedimentos de manutenção adequados, para os veículos com tarefas destinada a transporte de material.

Tendo em vista os aspectos factíveis apresentados, apresenta-se como meta 22% de minimização no consumo de energia química na indústria.

Com base nesta meta o consumo de energia química passaria de 18,4 litros para 14,4 litros/m<sup>3</sup> de compensado que equivale a 133Mcal/m<sup>3</sup>.

### Energia Global

Tendo em vista os resultados do exercício de otimização do consumo por tipo de energia, na Tabela 48 são apresentados os resultados do consumo de energia otimizado em relação ao uso de energia atual e a redução potencial final. Estes resultados se referem ao consumo por tipo e global.

TABELA 48. COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ATUAL E OTIMIZADO

TIPO ENERGIA	ATUAL (Mcal/m <sup>3</sup> )	OTIMIZADA (Mcal/m <sup>3</sup> )	REDUÇÃO POTENCIAL (%)
TÉRMICA	1848	1293	30
ELETRICA	183	119	35
QUÍMICA	170	133	22
TOTAL	2201	1545	30

Como se observa, resultados indicam existir um potencial de redução de 30% no consumo total atual. Nestes resultados estão consolidados os índices de redução nos tipos de energia elétrica, térmica e química, apresentados anteriormente.

Os resultados do consumo de energia total otimizado encontrados foram de 1545Mcal/m<sup>3</sup>. Este valor é compatível com os resultados de consumo total de energia na indústria de compensado segundo COMSTOCK (1975) e EKONO YO (1980). Tais autores encontram respectivamente os valores de 1310Mcal/m<sup>3</sup> e 1206Mcal/m<sup>3</sup> de compensado. Nestes resultados da literatura não está incluído o consumo de energia química.

O WORLD RESOURCES INSTITUTE (1988), ao proceder uma análise sobre o uso de energia na indústria, concluiu que têm ocorrido, constantemente, nas recentes décadas, ganhos significativos na eficiência da energia empregada. Em diversas unidades industriais, a intensidade energética que expressa a quantidade de energia exigida por unidade de produto, foi reduzida, em termos médio, em 30%. Este resultado é semelhante ao alcançado com a otimização da demanda global de energia na indústria de compensado, conforme proposta do exercício do presente para aumentar a eficiência energética na indústria considerada.

#### 4.4.2 Otimização do Uso de Resíduos

A geração de resíduos atual, conforme item 4.2.2, é de 1,9m<sup>3</sup> (de resíduos)/m<sup>3</sup> de compensado produzido nas condições do presente estudo. Considerando que o teor de umidade média ponderada foi de 107% base seca, considerados os diferentes tipos de resíduos produzidos, o poder calorífico líquido seria de 1884Kcal/Kg de resíduo, com base na equação citada por KOLLMAN (1968) e RESCH (1982). Portanto, a produção de energia a partir de resíduos seria de 1435Mcal/m<sup>3</sup> de compensado.

A otimização no consumo atual de resíduos é feita com base na eliminação de resíduos de terceiros adquiridos no mercado local e na minimização da quantidade de resíduos próprios, mantida a produção de vapor.

Um exercício sobre a secagem dos resíduos com base nas condições encontradas neste trabalho para uso mais seco com cerca de 12% de umidade base seca, eleva o poder calorífico líquido médio de 1884Kcal/Kg (107%b.s.) para 4058Mcal/Kg (12%b.s.). Neste valor não se encontra descontado a quantidade de energia para secagem dos resíduos.

Há significativa demanda de energia para o processo de secagem dos resíduos. A redução da umidade do combustível de material úmido para seco, descontando a energia necessária na secagem, pode aumentar em cerca de 20% o seu rendimento energético. Esta premissa é baseada em potenciais de ganhos em energia devido o uso de combustível seco segundo BAZZO (1995), HAGEN e BERG (1982) e MITRE (1982).

Com base nos aspectos considerados neste exercício, o uso de resíduos secos (12% de teor de umidade na base seca), descontada a demanda de energia no seu processo de secagem, permite otimizar o uso dos resíduos em relação ao poder calorífico líquido de 1884Kcal/kg para 2261Kcal/Kg. Por este motivo, é factível considerar que a produção de energia dos resíduos seria de 1723Mcal/m<sup>3</sup> de compensado.

Isto é compatível com RESCH (1982) que menciona ganho de eficiência em 15% no uso da biomassa seca em relação a biomassa úmida. São implicados nos cálculos de otimização dos resíduos, todos aqueles gerados nas fases de conversão primária e secundária, que compõem as unidades de fabricação do compensado.

O uso de resíduo disponível, na condição atual, representa somente cerca de ¾ do consumo global de energia por unidade de compensado produzida; resultado semelhante foi encontrado por B. H. LEVELTON & ASSOCIATE (1978) e OLIVER (1975), onde citam que os resíduos representam 73% do consumo geral de energia na indústria de compensado.

Em relação ao uso otimizado de resíduos disponíveis na indústria e o consumo atual de energia, observa-se que eles podem representar 87% do consumo global de energia ou, ainda, gerar excedente, quando se compara especificamente com o uso da energia térmica. De certa forma, este valor otimizado está de acordo com KOCH (1976) que menciona o uso dos resíduos podendo representar de 49% a 94% do consumo total de energia, dependendo de processo empregado na indústria e das condições de seu uso. Ainda neste panorama, conforme AROLA (1976), “é possível os resíduos da indústria de compensado serem responsáveis por toda a energia térmica demandada na sua fabricação”.

#### 4.4.3 Implicações no Balanço Energético

A Tabela 49 apresenta o balanço atual de energia entre o potencial de resíduos por tipo para a sua geração e consumo de energia por tipo por m<sup>3</sup> de compensado produzido na indústria estudada.

TABELA 49. BALANÇO ATUAL ENTRE O POTENCIAL DE RESÍDUOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA E SEU CONSUMO POR M<sup>3</sup> DE COMPENSADO

RESÍDUOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA (POR M3 DE COMPENSADO)	CONSUMO DE ENERGIA TOTAL POR TIPO (POR M3 DE COMPENSADO)
Casca = 273Mcal	Energia térmica = 1848Mcal
Resíduos da laminação = 1004Mcal	Energia elétrica = 183Mcal
Resíduos da fábrica = 158Mcal	Energia química = 170Mcal
	Energia humana = < 1Mcal
TOTAL = 1435Mcal	TOTAL = 2201Mcal
DIFERENÇA ENTRE A ENERGIA DE RESÍDUOS E O CONSUMO IGUAL A 766Mcal	

Com base nestes resultados e para as condições da indústria estudada se observa que a produção de resíduos permite para gerar 65% do consumo global de energia consumida. Quando se compara esta produção de energia com o consumo de energia térmica, ela equivale a 78% deste consumo.

Este resultado de balanço é compatível com os resultados mencionados na literatura. Para B. H. LEVELTON e ASSOCIATES (1978) e OLIVER (1975), os resíduos da indústria de compensado podem atender 73% da demanda de energia global e a quase totalidade da demanda de energia térmica.

A Tabela 50 apresenta o balanço entre o consumo otimizado de energia por tipo e o potencial de geração de energia dos resíduos gerados com base no uso atual ou otimizado, com conforme discutidos no item 4.4.2, por  $m^3$  de compensado produzido

TABELA 50. BALANÇO OTIMIZADO DE ENERGIA ENTRE O POTENCIAL DE RESÍDUOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA E SEU CONSUMO POR  $M^3$  DE COMPENSADO

RESÍDUOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA (POR $M^3$ DE COMPENSADO)	CONSUMO DE ENERGIA TOTAL POR TIPO (POR $M^3$ DE COMPENSADO)
TOTAL ATUAL = 1435Mcal	Energia térmica = 1293Mcal Energia elétrica = 119Mcal Energia química = 133Mcal Energia humana = < 1Mcal
TOTAL OTIMIZADO = 1722Mcal	TOTAL = 1545Mcal

Na primeira hipótese de considerar o uso atual de resíduos, observa-se que sua energia é responsável por 93% do consumo global de energia consumida na produção de  $1m^3$  de compensado. A geração de energia dos resíduos é suficiente para atender a demanda de energia térmica otimizada.

Na outra hipótese de uso otimizado dos resíduos, sua capacidade de produção energética por ser maior e atende a demanda global de energia para produção de compensado.

Em relação ao uso otimizado de energia não foi encontrado citação na literatura. No entanto, autores como AROLA (1976) e KOCH (1976) comentam que no segmento da indústria de compensado é possível gerar toda a energia térmica em função da queima direta dos resíduos em caldeiras.



## 4.5 MODELOS DE REGRESSÃO PARA ESTIMATIVAS DE CONSUMO DE ENERGIA PARA INDÚSTRIA DE COMPENSADO

### 4.5.1 Seleção de Modelos

Os modelos foram desenvolvidos para se aplicar em fábrica de compensado operando na Região Sul do Brasil com o objetivo de determinar o consumo de energia e sua eficiência energética.

As variáveis consideradas como independente foram a produção de lâminas, de lâminas secas (secagem de lâminas) e produção de compensado. As variáveis dependentes foram os consumos de energia térmica, energia elétrica e energia química. Para a energia humana não foi testado os modelos, pois seu consumo foi pequeno.

Os modelos permitem estimar a energia total e por forma na situação otimizada.

Com base nas correlações entre variáveis para prognose do consumo de energia, foram apresentados os modelos de equações de regressão mais adequados para estimar a demanda de energia. Na relação dos modelos utilizou-se as estimativas dos coeficientes dos melhores modelos testados, bem como seus respectivos coeficientes de determinação ajustados ( $R^2_{aj}$ ), erro padrão da estimativa em percentagem ( $S_{yx}\%$ ) e análise dos resíduos. No ANEXO estão apresentados os resultados para todos os modelos de equações testadas. Todos os modelos apresentam valores de F significativo ( $p < 0,01$ ). Os valores de coeficientes de determinação encontrados são bons. Os parâmetros estimados ( $\beta_i$ ) dos modelos apresentam-se confiáveis com  $t$  de *Student* superior a 3,0 ou inferior a -3,0.

A definição pelos melhores modelos, estatisticamente, foi feita com base no erro padrão de precisão da estimativa,  $S_{yx}$ . Em alguns modelos o coeficiente de determinação  $R^2$  foi inferior aos coeficientes de determinação de modelos escolhidos com base no parâmetro anterior. Porém o  $R^2$  reflete uma razão entre somas de erros elevados ao quadrado e depende do modelo. Assim, o erro padrão de estimativa, na mesma escala de medida de variável resposta, representa uma maneira mais adequada de refletir a qualidade do ajuste, daí a preferência.

#### 4.5.2 Modelos Seleccionados para estimar consumo de energia por tipo em função produção de lâminas, sua secagem e produção de compensado

##### Lâminas

Os melhores modelos matemáticos para estima o consumo de energia para os tipo de energia térmica, elétrica e química em função da produção de lâminas são apresentados na Tabela 51.

TABELA 51. MODELOS SELECIONADOS PARA ESTIMATIVA DO CONSUMO DE ENERGIA NA LAMINAÇÃO

Variável Resposta (y)	Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$R^2_{aj.}$	$S_{yx}\%$
Energia Elétrica (Kwh/mês)	$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x^2 + \xi$	8982,54 t=13,4	0,00581 t=9,4	0,7775	12,28
	$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x + \xi$	3182,984 t = 2,5	114,4680 t = 8,0	0,7599	12,60
	$\hat{y} = \beta_0 x^{\beta_1} + \xi$	57,1511 t = 2,9	0,80372 t = 4,5	0,7695	13,04
	$\hat{y} = \beta_1 x + \xi$	-	14,4759 t = 37,3	0,9817	13,97
Energia Química (Litros Diesel/mês)	$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x^2 + \xi$	1813,081 t=8,7	0,00101 t=5,3	0,5222	19,72
Energia Química (Mcal/mês)	$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x^2 + \xi$	17847,30 t = 9,5	0,01344 t = 5,4	0,5311	18,64
	$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x + \xi$	8695,207 t = 2,4	18,30102 t = 5,2	0,5057	19,41
	$\hat{y} = \beta_1 x + \xi$	-	26,51697 t = 24,7	0,9592	20,90
Energia Térmica (Kg Biomassa/dia)	$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 \ln x + \xi$	-56102,60 t = -7,7	16394,12 t = 9,4	0,5781	13,60
Energia Térmica (Mcal/dia)	$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 \ln x + \xi$	-69650,26 t = -7,8	20352,90 t = 9,4	0,5781	13,58
	$\hat{y} = \beta_0 \cdot \exp^{\beta_1/x} + \xi$	58138,59 t = 6,1	86,9277 t = 8,0	0,5835	13,57
	$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x^2 + \xi$	5531,714 t = 5,2	2,2470 t = 9,3	0,5779	13,15

$y_i$  representa consumo de energia e  $x_i$  a produção de lâminas

### Secagem

Os modelos selecionados para a estimativa do consumo de energia por tipo em função do volume de lâminas secas são apresentados na Tabela 52.

TABELA 52. MODELOS SELECIONADOS PARA ESTIMATIVA DO CONSUMO DE ENERGIA NA SECAGEM DE LÂMINAS

Variável Resposta(y)	Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$R^2_{aj.}$	$S_{yx}\%$
Energia Elétrica (Kwh/mês)	$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x^2 + \xi$	33999,227 t=12,1	0,00591 t=9,7	0,7894	11,22
	$\hat{y} = \beta_0 x^{\beta_1} + \xi$	117,9210 t = 4,3	0,81878 t = 5,1	0,7757	11,82
	$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 \ln x + \xi$	-275439,5 t = -6,7	44228,56 t = 8,1	0,7202	12,94
	$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x + \xi$	27164,238 t = 12,0	221,8333 t = 6,6	0,6322	6,97
	$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 \ln x$	-20386,298 t = - 2,6	14972,08 t = 8,1	0,7193	6,01
	$\hat{y} = \beta_0 * \exp(-\beta_1/x) + \xi$	59701,111 t = 21,9	22,1609 t = 7,8	0,7695	5,63

$y_i$  representa consumo de energia e  $x_i$  o volume de lâminas verdes

### Fábrica

Os melhores modelos para estimar o consumo de energia por tipo em função da produção de compensado são mostrados na Tabela 53.

TABELA 53. MODELOS SELECIONADOS PARA ESTIMATIVA DO CONSUMO DE ENERGIA NA PRODUÇÃO DE COMPENSADO

Variável Resposta(y)	Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$R^2_{aj.}$	$S_{yx}$
Energia Elétrica (Kwh/mês)	$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x + \xi$	24916,61 t = 5,7	31,655 t = 10,1	0,8560	5,95
	$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x^2 + \xi$	44084,92 t = 17,4	0,0155 t = 10,1	0,8554	5,96
	$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 \ln x + \xi$	-205890,3 t = -6,8	38131,00 t = 9,0	0,8240	6,58
Energia Química (Litros Diesel/mês)	$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 \ln x + \xi$	-1585,821 t = -4,4	291,6800 t = 5,7	0,5612	20,48
Energia Química (Mcal/mês)	$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x^2 + \xi$	16557,30 t = 15,4	0,0044 t = 7,3	0,6744	12,31
	$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x + \xi$	11317,96 t = 6,0	10,2155 t = 6,6	0,6316	13,10
	$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 \ln x + \xi$	-49551,69 t = -3,9	10396,01 t = 5,7	0,5557	14,39
Energia Térmica (Kg Biomassa/dia)	$\hat{y} = \beta_1 x + \xi$	-	658,9871 t = 43,4	0,9910	9,59
	$\hat{y} = \beta_1 x + \xi$	-	1386,444 t = 86,6	0,9932	8,30
Energia Térmica (Mcal/dia)	$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x^2 + \xi$	28489,45 t = 11,1	16,5852 t = 10,4	0,6799	8,38
	$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 \ln x + \xi$	-126099,3 t = -7,3	49316,01 t = 10,4	0,6812	8,36
	$\hat{y} = \beta_0 \cdot \exp^{(\beta_1/x)} + \xi$	135484,7 t = 9,7	35,4424 t = 8,7	0,6866	8,51

$y_i$  representa consumo de energia e  $x_i$  a produção de compensado

#### Discussão dos modelos selecionados

Observa-se que vários modelos se apresentam com bom ajuste para explicar o consumo de energia por tipo em relação a produção física na indústria de lâminas, de secagem de lâminas e de compensado.

Nos melhores modelos testados para o consumo de energia em relação a produção, verifica-se, como esperado, que existe correlação direta entre a produção física de lâminas e o consumo de energia. Este resultado é ainda mais reforçado, a medida que se observa em

certos modelos, quando se exclui o  $\beta_0$ , a equação apresenta-se com bom ajuste. Para tal situação, interpreta-se que somente há consumo de energia se houver produção física na empresa. Mas a tendência mais comum, explicada pelos melhores modelos testados, é a existência de parte de consumo fixo de energia - modelos com inserção de  $\beta_0$  - e parte de consumo variável com os fatores de produção.

Nos modelos de equações, cuja variável dependente é a demanda de energia elétrica ou de energia térmica, o erro padrão da estimativa percentual ( $S_{yx}\%$ ) resultou-se, quase sempre, menor em relação aos modelos testados para estimar a demanda combustíveis (energia química) para veículos destinados ao transporte e movimentação de materiais.

De certa forma, isto reflete a melhor correlação da demanda de energia elétrica e de energia térmica com a produção física, como se observa através do coeficiente de correlação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ). Por outro lado, a demanda de combustíveis, especialmente devido a movimentação de materiais dentro da infra-estrutura de produção, é menos correlacionada com a produção.

De modo geral, o modelo  $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i^2$  foi o que melhor serviu para explicar o consumo das principais fontes de energia. Mas ressalta-se, que a estimativa  $\beta_1$  é quase sempre de valor pequeno em relação ao  $\beta_0$ . Também, por outro lado, vários modelos de comportamento linear podem ser aceitos para explicar o consumo de energéticos em função da produção na empresa.

Assim, conforme mostram as Figuras 38, 39 e 40, respectivamente, relativas ao consumo de energia térmica, elétrica e química em função da produção de lâminas, secagem de lâminas e produção de compensado, houve um comportamento próximo aos modelos lineares.

Considerando-se que as variáveis independentes - volume de lâminas produzidas, volume de lâminas secas e volume de compensado produzido - são facilmente obtidas na indústria, pode-se estimar o consumo de energia facilmente. Muito embora o conhecimento de energia elétrica é apresentado rotineiramente pela Concessionária de energia elétrica, a demanda quantitativa de combustíveis e de biomassa para caldeira não são, regularmente, conhecidas.

FIGURA 38. ESTIMATIVA DA DEMANDA OTIMIZADA DE ENERGIA TÉRMICA  
NA INDÚSTRIA

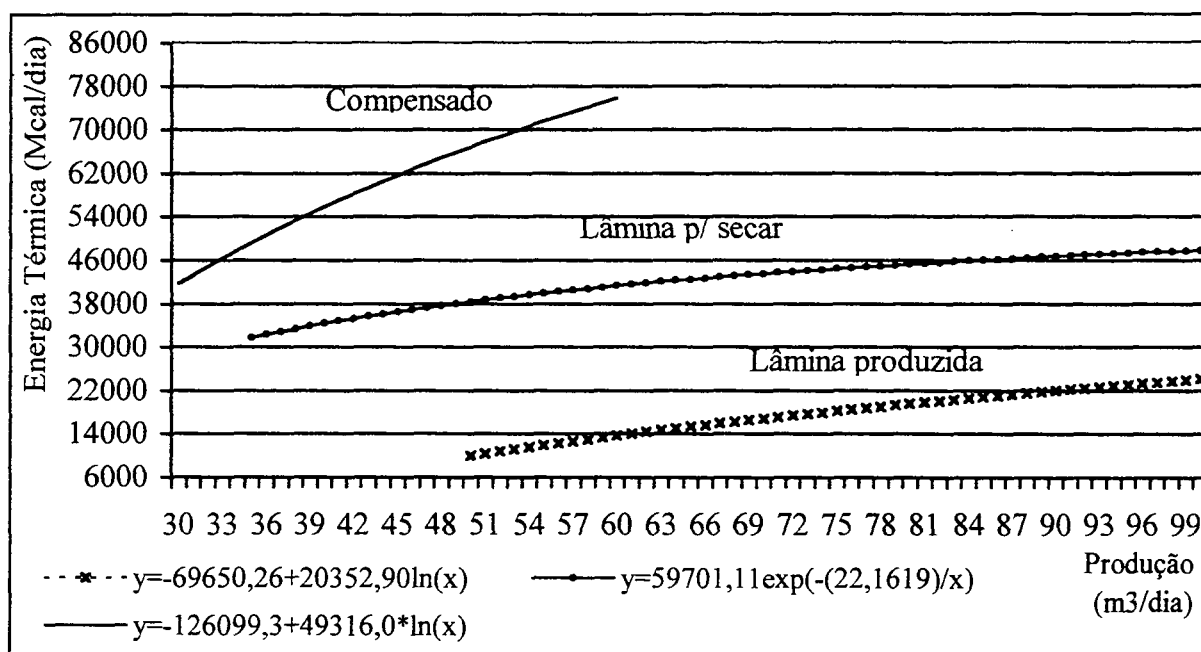


FIGURA 39. ESTIMATIVA DA DEMANDA OTIMIZADA DE ENERGIA ELÉTRICA  
NA INDÚSTRIA

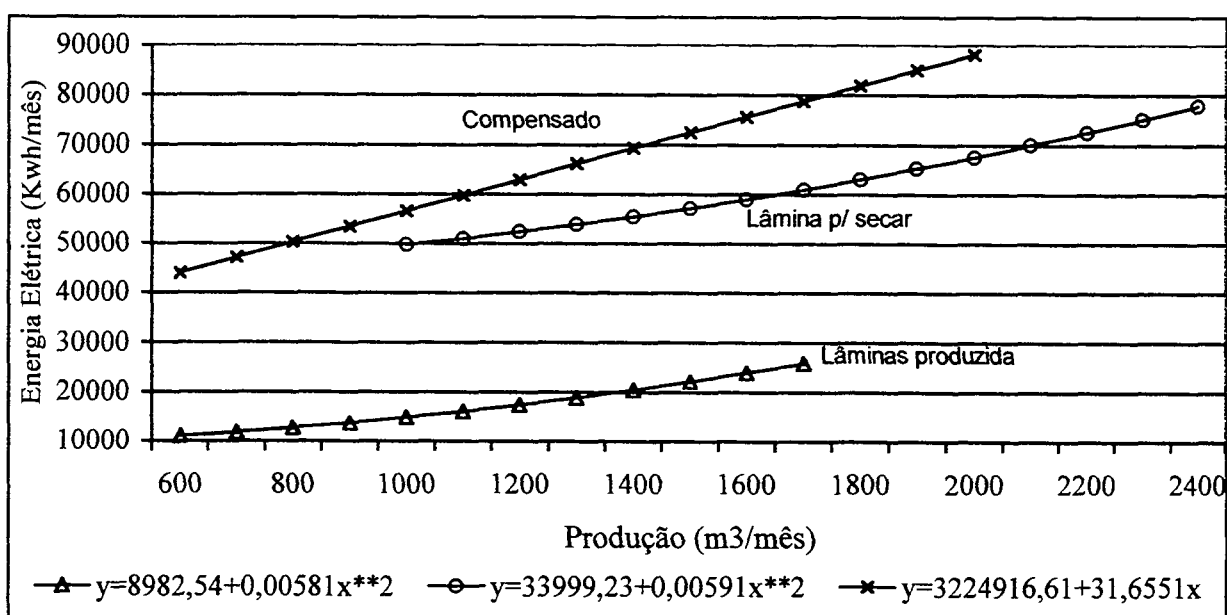
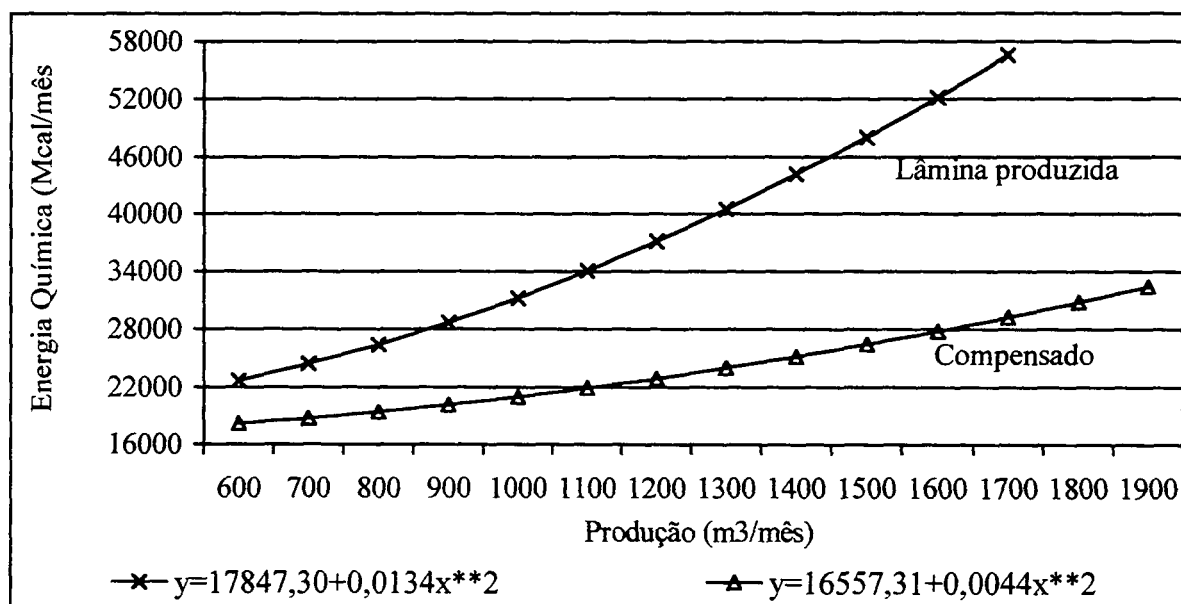


FIGURA 40. ESTIMATIVA DA DEMANDA OTIMIZADA DE ENERGIA QUÍMICA NA INDÚSTRIA



#### 4.5.3 Consumo de Energia global em Relação a Produção de Compensado

Neste item empregou-se os modelos desenvolvidos para testar a prognose de consumo de energia global otimizado em relação a produção de compensado, com o objetivo de determinar a eficiência energética (ver Anexo E).

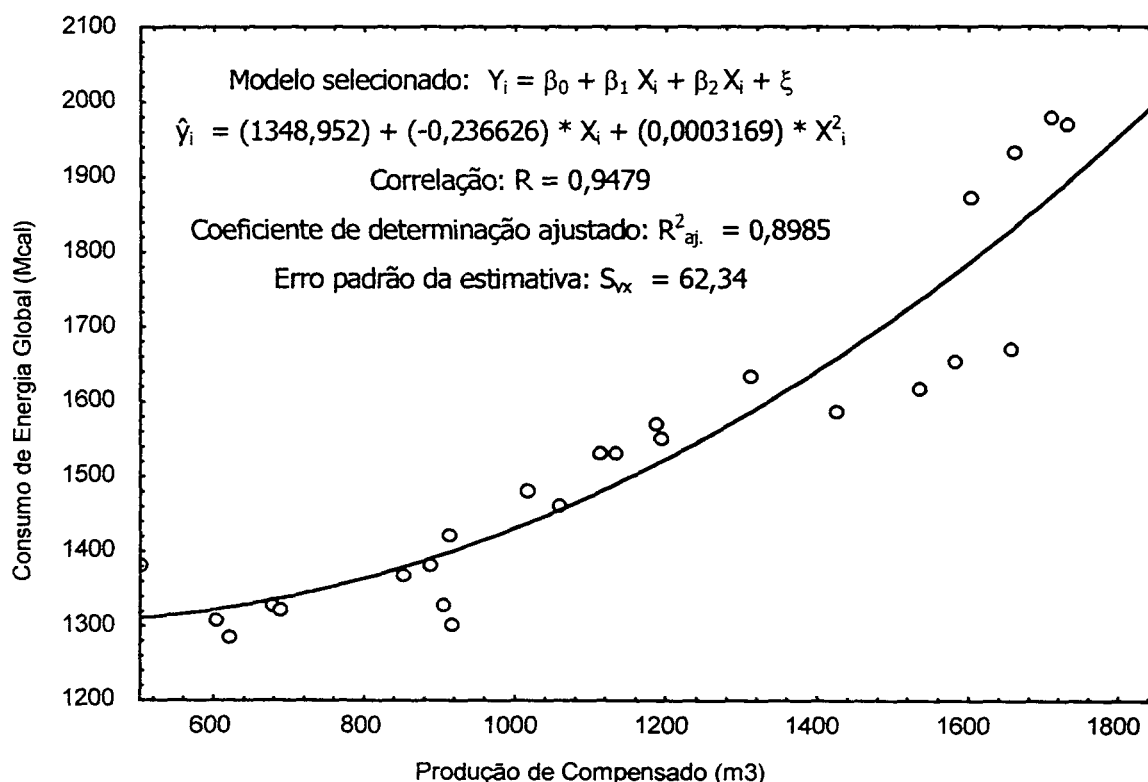
A variável independente considerada foi a produção de compensado (m³). A variável dependente foi consumo total de energia (Mcal).

O modelo selecionado está apresentado na Figura 41 e permite estimar a energia total otimizada em relação a produção de compensado, considerando a base de dados do presente estudo.

O modelo selecionado resultante apresentou-se eficiente para explicar este comportamento, com o coeficiente de correlação elevado e pequeno erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ).

Como é de esperar, nos melhores modelos testados para o consumo de energia em relação a produção, verifica-se que existe correlação física direta entre a produção de compensado e o consumo de energia global.

FIGURA 41. CONSUMO GLOBAL OTIMIZADO DE ENERGIA EM FUNÇÃO DA PRODUÇÃO DE COMPENSADO



#### 4.5.4 Consumo de Energia Otimizada por m<sup>3</sup> em Relação a Produção de Compensado

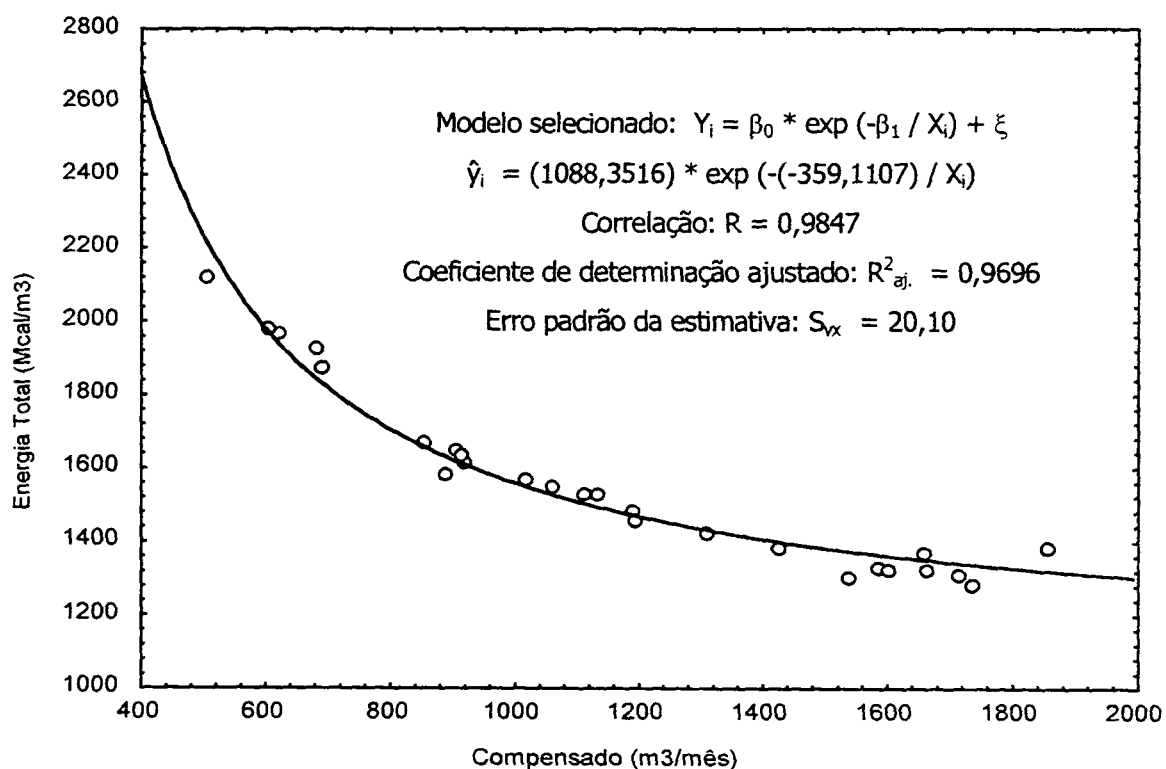
##### Equação para consumo global

Na Figura 42 é apresentado o modelo de equação selecionado para expressar o consumo global de energia por volume em relação a produção de compensado mensal, com base nos dados deste trabalho.

Vários modelos de equações testados se mostram com bom ajuste estatístico (Anexo E e F). O melhor modelo foi uma equação do tipo exponencial que se apresentou eficiente para explicar este comportamento, com o coeficiente de correlação elevado e pequeno erro padrão da estimativa ( $S_{y\hat{x}}$ ).



FIGURA 42. CONSUMO DE ENERGIA GLOBAL OTIMIZADA POR VOLUME EM RELAÇÃO A PRODUÇÃO DE COMPENSADO



Como é de esperar, o consumo otimizado de energia global por volume decresce com o aumento na produção de compensado para a faixa de dados analisados. Quando a indústria se apresenta com produção ociosa, observa-se que o consumo de energia é maior em relação a produção a plena capacidade instalada. Em relação a custo global de energia é de se esperar valores menores quando a produção ocorre na capacidade plena.

#### Equação por Tipo de Energia

Nas Figuras 43, 44, 45 e 46 são apresentados os modelos de regressão selecionado que exprimem o consumo por tipo de energia por unidade de volume de compensado em relação a sua produção, respectivamente, para energia elétrica, energia térmica, energia química e energia humana.

FIGURA 43. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA OTIMIZADA POR VOLUME EM  
RELAÇÃO A PRODUÇÃO DE COMPENSADO

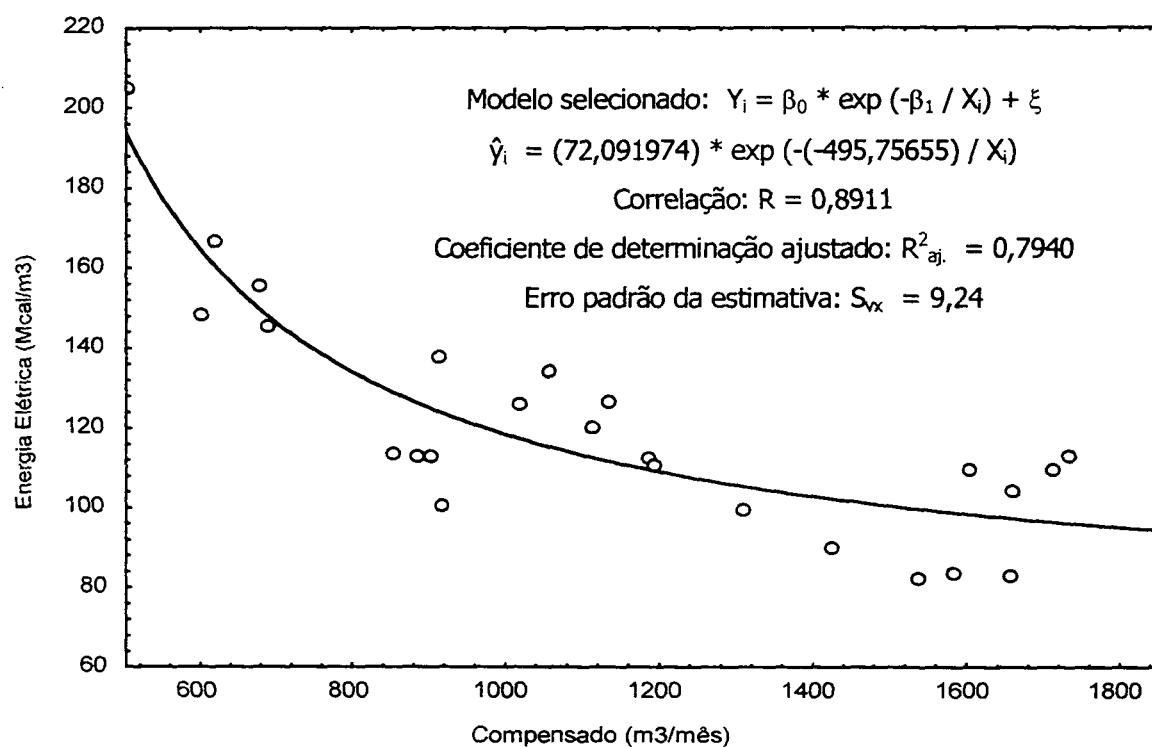


FIGURA 44. CONSUMO DE ENERGIA TÉRMICA OTIMIZADA POR VOLUME EM  
RELAÇÃO A PRODUÇÃO DE COMPENSADO

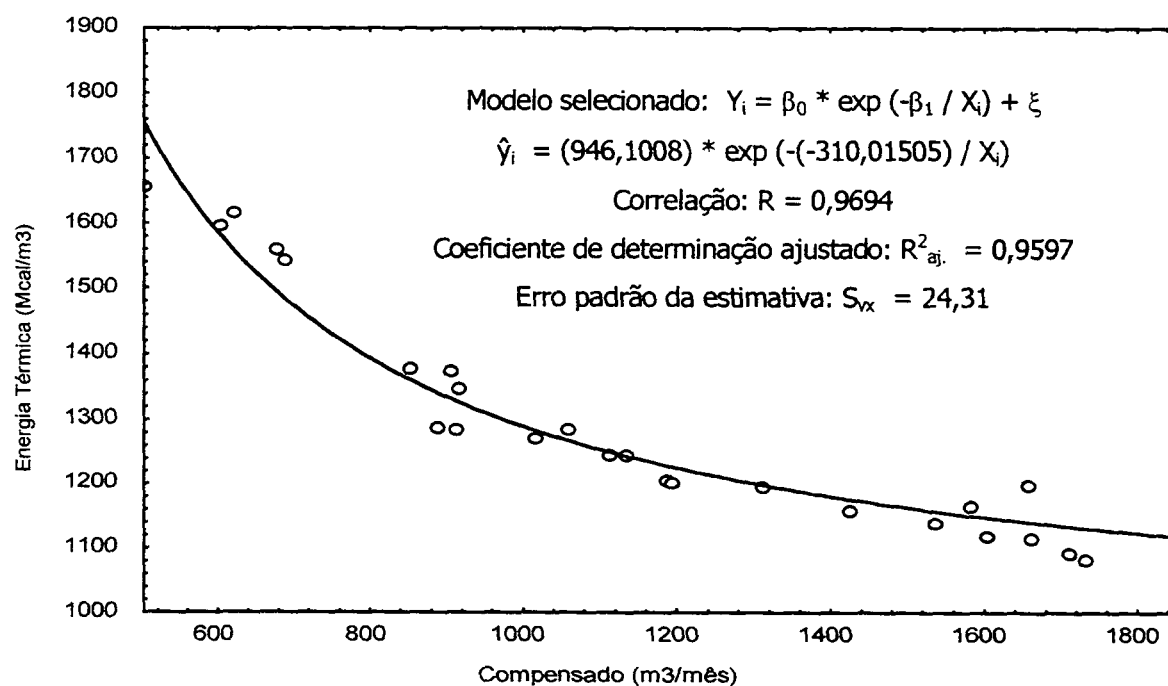


FIGURA 45. CONSUMO DE ENERGIA QUÍMICA OTIMIZADA POR VOLUME EM RELAÇÃO A PRODUÇÃO DE COMPENSADO

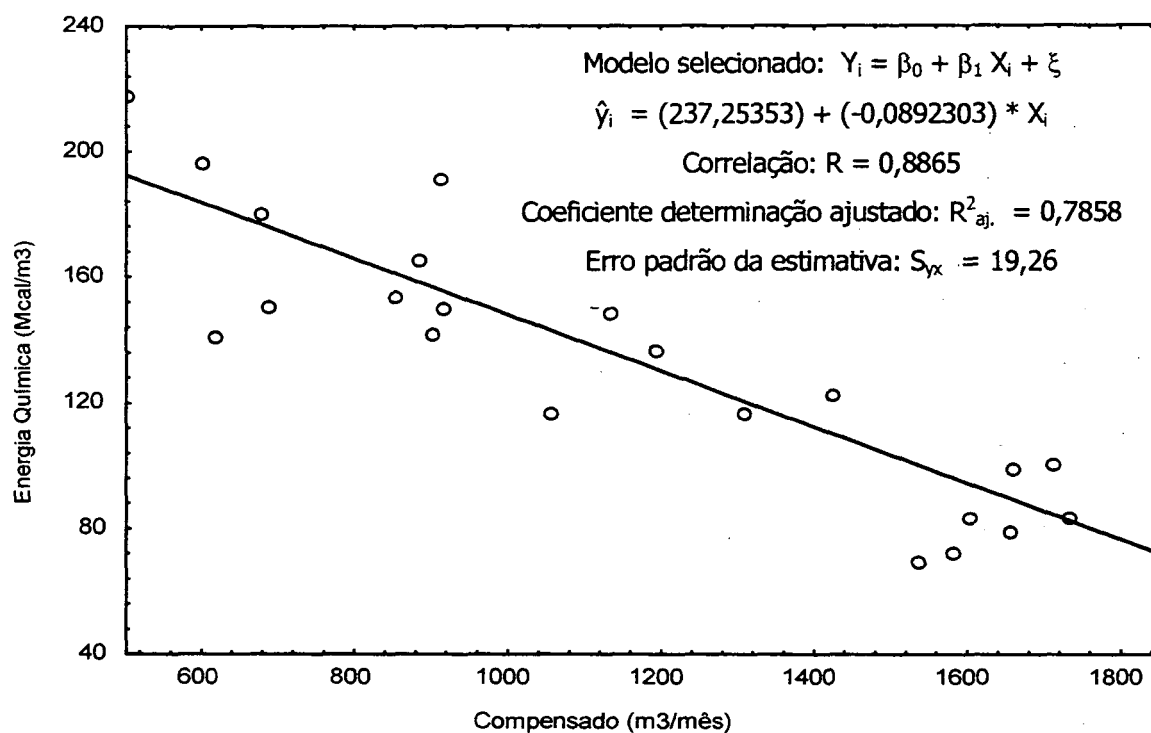
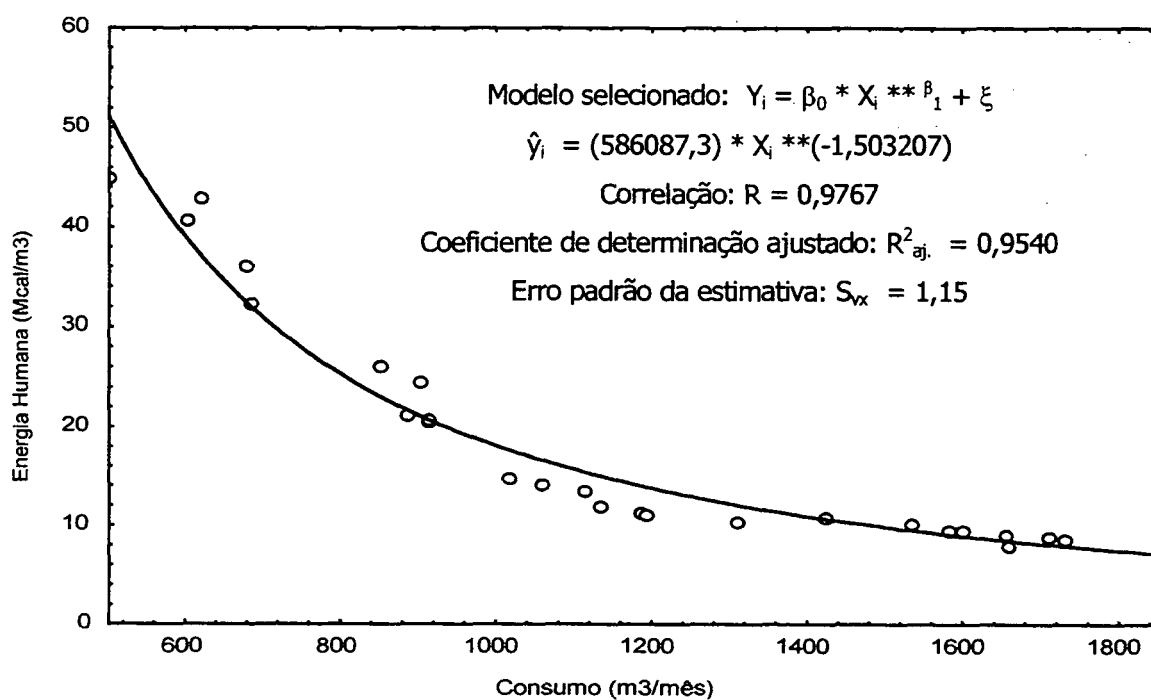


FIGURA 46. CONSUMO DE ENERGIA HUMANA POR VOLUME EM RELAÇÃO A PRODUÇÃO DE COMPENSADO



Os vários modelos testados apresentaram com bons ajustes para explicar o consumo de energia otimizado por tipo e por  $m^3$  em relação a produção de compensado mensal. Os melhores modelos foram do tipo exponencial para energia elétrica e térmica; modelo linear para energia química e modelo multiplicativo para energia humana. Mas diversos modelos propostos na metodologia se apresenta com bom ajuste para explicar o consumo por tipo de energia em relação a produção de compensado (Anexo F)

Para todos os tipos de energia se observa uma redução do consumo de energia por unidade de volume quando se aumenta a produção de compensado na indústria, significando ganho no consumo de energia. Isto implica que o consumo de energia por unidade de volume é sempre maior quando a fábrica está operando com menor produção de compensado. Mas tendendo a estabilizar-se a partir de um certo volume da produção ( $1500m^3/mês$ ).

Estes resultados indicam que a indústria deve operar numa produção mensal de compensado superior a  $1500m^3$  para obter um uso mais eficiente de energia. Ao contrário, o valor médio mensal observado na indústria no decorrer da série histórico foi bem inferior,  $1165m^3$  mensais.

#### 4.6 IMPLICAÇÕES DESTE ESTUDO NA INDÚSTRIA DE BASE FLORESTAL

Há dois aspectos particularmente interessantes, que merecem ser destacados, quando se considera a otimização no consumo de energia na indústria: a competitividade do produto e a conservação global de energia.

##### Competitividade do produto

Ser competitivo é ter a maior produtividade entre todos os concorrentes; o que realmente garante a sobrevivência das empresas é a garantia de sua competitividade. No entanto, estes itens estão interligados: a garantia de sobrevivência decorre da

competitividade, a competitividade decorre da produtividade e esta da qualidade e do valor agregado dos produtos (CAMPOS 1992).

Por conseguinte, o menor custo do produto é um dos fatores componentes da sobrevivência da empresa.

Considerando-se que a competitividade de um produto é a sua posição relativa favorável em relação aos concorrentes, a essência da competitividade está no menor custo de produção.

A proposta de otimização do uso de energia melhora a competitividade do produto, ao implicar em menor custo de sua produção.

### Conservação global de energia

A conservação de energia é um tema de ação corrente e continuada, que envolve amplos segmentos da sociedade e de suas empresas; além de ser a preocupação da humanidade nesta era pós-moderna em que se vive no momento. Em consequência, segundo ALTAMONTE (1996), este tema tem se enquadrado nas declarações e programas de governos de diversas regiões da Terra.

Neste contexto, busca-se a eficiência no uso dos recursos energéticos, pois a energia é um dos bens da humanidade, na atualidade, com maior consumo, que foi quadruplicado entre as décadas de quarenta e noventa deste século (WORLD RESOURCES INSTITUTE, 1988). Acrescenta-se, ainda, o fato de a energia ser um recurso com disponibilidade finita, por conseguinte, havendo a necessidade, cada vez mais premente, de propugnar por sua conservação e a otimização de seu uso nas indústrias.

Com base nos resultados alcançados no item 4.4 referente a otimização de energia para a indústria de compensado e, considerando o panorama da grande demanda e necessidade energética, torna-se possível e necessário a proposição para que as indústrias do setor florestal possam aumentar seus esforços para contribuir, de maneira efetiva, com a conservação global de energia.

Para tal fim, o mesmo resultado de melhoria na eficiência do uso energético de cerca de 30% factível para a indústria de compensado estudada (ver item 4.4), pode, possivelmente, ser perseguido pela maioria das empresas do setor florestal.

O esforço de uma otimização global de energia realizado no conjunto do setor florestal representaria, conseqüentemente, numa significativa contribuição para o panorama

geral de conservação de energia, redundando numa colaboração expressiva para a sociedade.

#### Consumo de energia do Compensado em Relação a Outros Produtos

Os estudos sobre o perfil de uso energético global e por tipo, bem como o custo de cada tipo de energia para os produtos florestais, tem sido escassos. Na literatura, conforme se observa na revisão realizada no item 2, os dados principais são da década de setenta e estão pouco atualizados. Observa-se que aos estudos existentes, em sua maioria, coincidem com a crise de energia do petróleo ocorrida naquela década.

Na Tabela 54 são apresentados resultados do consumo de energia global para a produção de dez produtos florestais, considerados por PINGREY (1976) como *commodity*.

TABELA54. ENERGIA REQUERIDA NA MANUFATURA DE PRODUTOS FLORESTAIS

Produtos	ENERGIA REQUERIDA (Mcal/tonelada seca)	% EM RELAÇÃO A MADEIRA SERRADA
Madeira serrada de conífera	1462	-
Viga laminada	1851	27
Assoalho de carvalho	1709	17
Compensado de conífera	1925	32
Compensado de folhosa	2850	94
Chapa de partículas	3213	120
Chapa estrutural (flake)	2139	46
Chapa de fibra isolante	2850	95
Chapa dura	5154	252

FONTE: KOCH (1976) e PINGREY (1976)

Como se observa, a energia total requerida, considerando o transporte, a manufatura de aditivos e dos produtos florestais, varia de 1462Mcal/tonelada seca de madeira serrada de conífera a 5154Mcal/tonelada seca de chapa dura, mostrando, portando, uma dispersão muito grande nos valores de demanda de energia em relação aos distintos produtos. Partindo

desses valores extremos de consumo de energia citados por KOCH (1976) e PINGREY (1976), observa-se que o consumo de energia do compensado, em relação aos demais produtos florestais, está situado numa posição intermediária quanto ao consumo energia por unidade de produto.

Comportamento de consumo de energia global semelhante é encontrado nos dados de EKONO YO (1980) e FUNG (1982). O consumo de energia na produção de compensado se situa numa posição intermédia entre os produtos de madeira serrada de coníferas e painéis de madeiras reconstituídas. Em EKONO YO (1980) verifica-se que o consumo de energia na manufatura de produtos florestais é menor nas indústrias integradas, que se obtém, simultaneamente, dois ou mais produtos.

Para FUNG (1982), o maior consumo de energia na manufatura dos produtos florestais ocorre na produção de polpa e papel, com 5300Mcal/tonelada, devido a maior complexidade tecnológica deste seguimento da indústria florestal.

Partindo do princípio que a demanda de energia na indústria florestal é expressiva e muito variada, pode se criar, como premissa, a necessidade de otimizar o seu consumo, devido a dúvida sobre a estabilidade no custo de energia e no valor do combustível.

Por outro lado, a reestruturação e a crescente competição pelo uso de energia, em todo o Mundo, colocam forte pressão para a redução dos custos dos produtos florestais, visando a melhoria de suas competitividade no mercado globalizado.

Neste contexto, fica como proposta, a necessidade das indústrias do setor florestal implantar programas com metas para otimização do uso de energia, buscando mais eficiência com menor custo de produção, para atingir melhoria na competitividade os produtos florestais.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1 CONCLUSÕES

A análise do perfil energético indicou que existe boa relação entre o consumo de energia e a produção física de compensados na indústria analisada.

O aproveitamento do resíduo industrial não se dá de forma otimizada.

Para o consumo global da fábrica de compensados integrada com a laminadora, o maior consumo é representado por energia térmica (83,9%), seguido por energia elétrica (8,3%) e energia química (7,7%). A energia humana representou menos de 1%. Nesse estudo, o elevado índice de consumo de energia química deve-se ao fato de haver incluído os dispêndios de energia na distribuição dos produtos.

Considerando-se a localização do consumo de energia global, a maior parte ocorre na fábrica de compensados (82%). Dentro dessa unidade o maior consumo é representado pelo setor de secagem.

Especificamente em relação a energia elétrica as seguintes conclusões são relevantes:

- A maior potência instalada se encontra no setor de secagem com 30% do total. O segundo item de consumo mais importante é no acabamento com 18% (lixadeira e exaustores).
- Embora o setor de secagem seja responsável por 30% da potência instalada, esse setor possui uma demanda firme e constante. O problema se encontra nas altas variações (picos de demanda) verificados no setor de acabamento (lixadeira). Estes picos podem gerar ultrapassagem do importe de demanda contratado junto a concessionária de energia elétrica.
- O consumo principal de energia elétrica está concentrado na fábrica de compensados (88%) e dentro dessa unidade no setor de secagem.

Com relação a energia térmica as seguintes conclusões são relevantes:

- A disponibilidade de resíduos para conversão energética com base no balanço atual representa 78% da demanda de energia térmica.



- A energia térmica é consumida numa proporção de 27% na laminadora e 73% na fábrica de compensado, considerando nesta unidade o setor de secagem.
- O principal consumo de energia térmica se dá na secagem de lâminas (79%), seguido da laminação (18%). O setor de prensagem de chapas de compensado representou 2%.
- Os maiores pontos de consumo de energia são os secadores (73%), seguido do cozimento de toras (15%).

Especificamente para energia química as seguintes conclusões são importantes:

- O óleo diesel é a principal fonte de energia química, representando 85% da quantia de combustíveis utilizada.
- A distribuição dos produtos acabados é responsável pela maioria do consumo de combustíveis na indústria (38%).
- O consumo de combustíveis na laminadora e na fábrica de compensados se equivalem; somados representam 59% do consumo de energia química.

Especificamente para a utilização de energia humana se conclui que os setores de laminação, preparação e montagem das chapas para compensado e secagem das lâminas, pela ordem, são os principais pontos de consumo de energia humana, por conseguinte de mão-de-obra.

As análises indicam que existe a possibilidade de otimização do uso de energia e uma redução significativa do consumo global de energia (30%). A maior redução relativa é possível para energia elétrica (35%), seguida pelas formas de energia térmica (30%) e química (22%). Em termos quantitativos reais a maior redução se dá em energia térmica, devido sua maior participação no consumo global.

Em relação ao terceiro objetivo proposto para este estudo, qual seja de disponibilizar modelos matemáticos de consumo energético na indústria de compensado, as seguintes conclusões são relevantes:

- Diversos modelos de equações de regressão apresentaram bom ajuste, para prognose do consumo otimizado de energia em função da produção de compensado.

- Os melhores modelos, via de regra, apresentam-se em forma ou tendência de reta, quais sejam,  $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \xi$ ;  $Y_i = \beta_1 X_i + \xi$ ;  $Y_i = \beta_0 + \beta_1 \ln X_i + \xi$ ;  $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i^2 + \xi$  e  $Y_i = \beta_0 \exp^{(-\beta_1/X_i)} + \xi$ ; sendo a variável resposta,  $Y_i$ , o consumo de energia e a variável independente,  $X_i$ , a produção de compensado.
- À medida que aumenta a produção de compensado, diminui o consumo de energia por unidade de volume até determinada quantia de produção, representando um ganho de energia na produção industrial final.

## 5.2 RECOMENDAÇÕES

Considerando os resultados e as conclusões desse estudo, recomenda-se:

- Ampliar a base de informação sobre o perfil do consumo energético na indústria de processamento mecânico, priorizando a laminação, serraria e fábrica de compensado, considerando:
  - diferentes localizações geográficas em relação ao Norte e Sul do País;
  - nível tecnológico (grau de mecanização);
  - tipo de matéria-prima empregada.
  - porte da empresa
- Analisar para essas indústrias:
  - a possibilidade de otimização no consumo energético;
  - a viabilidade técnica e econômica do uso dos resíduos para suprir as necessidades energéticas (cogeração).
- Incluir nas análises outras implicações que possam ser relevantes:
  - geração de renda adicional para viabilização do negócio principal;
  - benefícios ambientais locais (uso apropriado de resíduos, evitando o descarte não apropriado no ambiente);
  - substituição de combustíveis fósseis por biomassa (material renovável).

Essa última recomendação se insere no contexto dos esforços globais para redução da emissão de dióxido de carbono, colaborando com um processo dentro do conceito de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOTT, MM.; van NESS, HC. **Termodinâmica**. Lisboa: ed. Mc Graw-Hill. 1992. 477p.
- ABIMA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA DE MADEIRA AGLOMERADA. Relatório. 1992. 37p. (não publicado).
- ABIMCI – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA COMPENSADA INDUSTRIAL. Relatório. 1995. 21p. (Não publicado).
- ABIMCI. Perfil da industria de madeira compensada: Estudo setorial. São Paulo, 1998. 32p.
- ABNT/GERÊNCIA DE CERTIFICAÇÃO. Certificação de origem florestal – ABNT/CERFLOR. In: I SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA e I ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRIO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO (1: Belo Horizonte, MG, 7-11/dezembro/1998). **Anais**. Viçosa, MG: SIF; UFV, DEF, 1998. 249-252p.
- AGUIAR, ACS. Combustíveis alternativos para motores diesel: estado da arte e previsão. In: SEMINÁRIO COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS NO BRASIL ATUAL: ASPECTOS TÉCNICOS, ECONÔMICOS E AMBIENTAIS (São Paulo, 14-15, agosto, 1990). **Anais**. São Paulo, 1990. p.140-165.
- AIMEX - ASSOCIAÇÃO DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE MADEIRA DO ESTADO DO PARÁ. Relatório estatística. Belém, 1995. 11p.
- ALABAMA'S FOREST INDUSTRIES. Primary and secondary forest products. Alabama Forestry Comission, Alabama, 1990.219p.
- ALTOMONTE, H. Energia y desarrollo sustentable: las principales lineas de acciion de CEPAL. In: REUNION REGIONAL SOBRE GENERACION DE ELETRICIDAD A PARTIR BIOMASSA (7: Montevideo, Uruguay, 23-27-octubre-1995) **Anais**. ROMA: FAO, Série Forestal, 1996. p . 33-36.
- ANDRADE, AU. Tecnologias modernas para a fabricação de compensados. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE COMPENSADOS DE MADEIRA TROPICAL (1: Manaus, 27-30, outubro,1992). **Anais**. Manaus, 1992. p.117-123.
- ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução nº 239 de 21 de junho de 2000. <http://www.aneel.gov.br> 25/01/2001.
- ANGELO, H. **As exportações brasileiras de madeiras tropicais**. Curitiba, PR: 1998. 129f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrária, Universidade Federal do Paraná.
- ARCHIBALD, WB. Woodwaste systems to boilers. In: WOOD RESIDUE AS NA ENERGY SOURCE (Madison, EUA, 1975). **Proceedings No. P-75-13**. Madison: Forest Products Research Society, 1975. p .57-59
- AROLA, A . Wood fuels – how do they stack up. In: ENERGY AND THE WOOD PRODUCTS INDUSTRY. (Madison, EUA, 1975). **Proceedings No. P-76-14**. Madison: Forest Products Research Society, 1976. p. 34-45
- ASSUMPCÃO, RMV. Floresta plantada como fonte de energia e matéria-prima para a indústria. **Brasil Madeira**, n. 18, p.23-34, 1978.

ASSUMPÇÃO, RMV. Gaseificação de madeira e carvão vegetal: princípios e aplicações. In: CETEC, **Uso da madeira para fins energéticos**, Belo Horizonte, 1981.

BADGER, PC. Opportunities for using wood waste or fuel: overview of current and potencia use in the Southeast. In: WOOD RECYCLING Conference & Exhibition: opportunities for waste generators & solid waste facilities in the Southeast, U. S. Department of Energy/Regional Biomass Program, July, 11-13, 1994.

BALDWIN, RF. **Operations management in the forest products industry**. San Francisco. Ed. Miller Freeman Publications, 1984. 264p.

BALDWIN, R. **Plywood manufacturing practices**. San Francisco: Miller Ed., 1975. 260p.

BALERIO, G. Caso de produccion de energia electrica en un aserradero. SERIE FORESTAL In: REUNION REGIONAL SOBRE GENERACION DE ELETRICIDAD A PARTIR BIOMASSA (7: Montevideo, Uruguay, 23-27-outubro-1995) **Anais**. ROMA: FAO, Série Forestal, 1996. p. 74-76.

BANKS, M. **preserve as florestas tropicais: preserve o mundo**. São Paulo: ed. Scipione, 1992. 48p.

BARGER, E. L.; LILJEDAHN, J. B.; CARLETON, W. M. & McKIBBEN, E.G. **Tratores e seus motores**. Rio de Janeiro: USAID e Edgard Blücher, 1966. 398p. (Tradução: SCHILLING, VL.).

BARRETO, W. Nuevas tecnologias en el uso energetico de la biomasa. In: REUNION REGIONAL SOBRE GENERACION DE ELETRICIDAD A PARTIR BIOMASSA (7: Montevideo, Uruguay, 23-27-outubro-1995) **Anais**. ROMA: FAO, Série Forestal, 1996. p. 77-86.

BAZZO, E. **Geração de vapor**, 2ª Ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1995. 216p.

BEITH, J. W. A floresta energética – uma nova opção. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRA e I CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO (7: Curitiba, 19-24/setembro/1993). **Anais**. Curitiba: SBS-SBEF, 1993. 301-303p.

BERTOLANI, F. O abastecimento energético na Freudenberg Indústria Madeireira S/A, com resíduos industriais e florestais. In: SEMINÁRIO ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS. **Anais**. Piracicaba: IPEF/ Série Técnica, v.1, n.2, p.11-110, 1980.

BEST, G. La biomasa en los países en desarrollo: potencialidades y restricciones. In: REUNION REGIONAL SOBRE GENERACION DE ELETRICIDAD A PARTIR BIOMASSA (7: Montevideo, Uruguay, 23-27-outubro-1995) **Anais**. ROMA: FAO, Série Forestal, 1996. p. 17-33.

BETHEL, J. S. Wood for fuel. In: SMITH, W. R. Ed.; **Energy from forest biomass**, New York, Academic Press, 1982, 51-53p.

BETHEL, J. S. The role of wood fuel in national energy budgets. In: THE EFFICIENT USE OF THE WOOD RESOURCE (Oxford: 9-16, April, 1980, IUFRO 5<sup>th</sup> Conference). **Proceedings**. Oxford, U.K: IUFRO, 101-615p. 1980.

B.H. LEVELTON, B H. and ASSOCIATION. A review options available the florest industry for producing eletricity from wood residues. Projeto ENFLOR, Toronto, Canadá, 1982.

- B. H. LEVELTON, B.H. and ASSOCIATION. Na evaluation of wood waste energy conservation systems. **Environment Canada**, Vancouver, B.C., 1978.
- BONNEMANN, Manual do técnico florestal. Irati, Apostila, v.4, Colégio Florestal de Irati: Campo Largo, 1986.
- BORATTO, GHT. É hora de união. **Silvicultura**, n. 50, p.8-12. 1993. (Entrevista).
- BORATTO, GHT. O Cerflor: uma iniciativa brasileira para preservar florestas e mercados. **Silvicultura**, n.56, p.4-8 (encarte), 1994.
- BORGES, AS.; CINIGLIO, G.; BRITO, JO. Considerações energéticas e econômicas sobre resíduos de madeira processada em serraria. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO (7: Curitiba, 19-24, setembro, 1993). **Anais**. Curitiba, p. 603-606. 1993.
- BOYERS, AS. e ECKERLIN, HM. Energy conservation applications in the wood products industry. In: ENERGY AND THE WOOD PRODUCTS INDUSTRY. **Proceedings** p-76-14; Forest Products Research Society. Madison, Wisconsin. 1976. p. 136-140
- BRANCO, SM. **Energia e meio ambiente**. 3ª Ed.. São Paulo, Ed. Moderna, 1990. 96p.
- BRASIL. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Balanço energético nacional 1993**. Ano base 1992. Brasília, 1993. 140p. (Vários anos).
- BRASIL. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Balanço energético nacional 1995**. Ano base 1996. Brasília, 1996. 140p.
- BRENTON, H. Fuel preparation for hog fuel boiler – the system, the problems, the benefits. In: WOOD RESIDUE AS NA ENERGY SOURCE. **Proceedings** No. P-75-13. Forest Products Research Society, Madison, EUA, 1975. p. 80-82
- BRIDGWATER, AV. The technical and economic feasibility of biomass gasification for power generation. *Fuel*, v. 74, no. 5, p631-653, 1995.
- BRITO, JO . Estimativa da produção de resíduos na indústria de serraria e laminação de madeira. **Revista da Madeira**, ano IV, no. 26, 1995. P. 34-39.
- BRITO, JO. Expressão da produção florestal em unidades energéticas. In: In: 7 CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO e I CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, Curitiba, 19-24/setembro/1993. **Anais...** SBS; SBEF, Curitiba, 1993. p. 280-282.
- BRITO, JO.; BARRICHELO, LEG. Usos diretos e propriedades da madeira para geração de energia. IPEF, Circular Técnica, n. 52, Piracicaba, SP. 1979.
- BRITO, JO.; BARRICHELO, LEG. Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. In: SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS. **Anais**. São Paulo, 1982. p101-137
- BRITO, JO.; BARRICHELO, LEG.; MIGLIORINI, AJ.; SEIXAS, F.; MARAMOTO, MC. Análise da produção energética e de carvão vegetal de nove espécies de Eucalipto. **Silvicultura**, 8 (28):742-744, 1988.
- BROWN, NC.;BETHEL, JS. **La industria maderera**. México, Ed. Limusa-Wiley, 1965. 397p.
- BULHÕES, OCA.; CERQUEIRA, CC.; ALBENY, MM.; JORDY FILHO, S. Do planejamento anterior adotado pela CVRD para identificação de clones de *E. grandis* para serraria. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DE MADEIRA DE

EUCALIPTO PARA SERRARIA (São Paulo: 5-6/abril/1995). **Anais**. São Paulo: IPEF-IPT-IUFRO-ESALQ, 1995, p.42-49.

CALADO, F. Evolução da Madeira Compensada no Brasil. **Revista Silvicultura**, nº 58, p. 44-46, nov./dez. 1994.

CALLAHAN, JE. Converting sawdust to gas. **Soil and Water Conservations News**, Washington D.C., USA, vol. 7, 3, 1986.

CAMPELLO, SB. **Ciclos térmicos: cogeração de energia**. Editora Comunicarte, Recife, 1990, 107p.

CAMPOS, VF. **Controle de Qualidade Total**. Fundação Cristiani Otoni e Escola de Engenharia da UFMG. 4º ed. Bloch Ed. Belo Horizonte, 1992. 229p.

CARPENTIERI, AE.; LARSON, ED.; WOODS, J. Prospects for utility-scale biomass-based electricity supply innortheast Brasil, CCES;PV Report no. 270, Center for Energy and Environmental Sudies, Princeton University, New Jersey, 1992

CARVALHO, T.; FEIJÓ, E. O programa de redução das emissões: andamento previsão das dificuldades futuras devido aos combustíveis disponíveis. In: SEMINÁRIO COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS NO BRASIL ATUAL: ASPECTOS TÉCNICOS, ECONÔMICOS E AMBIENTAIS (São Paulo, 14-15, agosto, 1990). **Anais**. São Paulo, 1990. p.3-16.

CARVALHO, JF. Biomassa utilizáveis industrialmente como fonte de energia primária. CNI. **Biomassa coadjuvante na oferta total de energia**. V.8, Brasília, p. 11-27, s.d.

CARY, C; JONES, E.; GHANDOUR, A. State-of-the art technologies for wood-energy generation: currente practices & future prospects. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA e I ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO (1: Belo Horizonte, MG, 7-11/dezembro/1998). **Anais**. Viçosa: SIF-UFV/DEF, 1998. 266-271p.

CENBIO – CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA. Guia de investimento em energias renováveis no Brasil., São Paulo: CENBIO e ANEEL. 1 disco compactado (74min.): digital nº82293252-2046. Guia de Investimento em Energias Renováveis no Brasil. In: Série Estudos e Informações Hidrológicas e Energéticas no.4, 1998. p . 1-4

CHRISTENSEN, GW. Wood residue sources, uses, and trends. In: WOOD RESIDUE AS NA ENERGY SOURCE. **Proceedings No. P-75-13**. Forest Products Research Society, Madison, EUA, 1975. p .39-41

CID, FCG. Experiências de uma empresa de transporte rodoviário. MINISTÉRIO DOS TRANSPORTE/DNER/INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS, Economia de combustível: ciclo de palestra, 1980, p.13-23.

COELHO, ST. A cogeração de eletricidade a partir de biomassa no setor industrial. ., São Paulo: CENBIO e ANEEL. 1 disco compactado (74min.): digital nº82293252-2046. Guia de Investimento em Energias Renováveis no Brasil. In: Série Estudos e Informações Hidrológicas e Energéticas no.4, 1998. 24p .

COMSTOCK, GG. Heat requirements for drying – lumber, veneer, particles. In: WOOD RESIDUE AS NA ENERGY SOURCE. **Proceedings No. P-75-13**. Forest Products Research Society, Madison, EUA, 1975. p . 8-12

CONSERWATT ENGENHARIA. Otimização do fator de potência e carregamento dos transformadores. Paragominas, 1996. 109p. (Relatório Técnico)

COPEL - COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA ELÉTRICA. Aspectos tarifários. Curitiba, 1987. 85p. Relatório.

COPEL – COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA ELÉTRICA. Manual de orientação aos consumidores: energia reativa excedente. Comitê de Distribuição de Energia Elétrica / CODI. Curitiba, s.d., 20p.

CORDER, S. Fuel characteristics of wood and bark and factors affecting heat recovery. In: WOOD RESIDUE AS NA ENERGY SOURCE. **Proceedings No. P-75-13**. Forest Products Research Society, Madison, EUA, 1975. p.30-34

COTRIM, A.; BITTENCOURT, A . M. **Instalações elétricas**. Ed. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, 2ª Ed., 1982. 415p.

COUTO, HTZ. Manejo de florestas e sua utilização em serraria. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DE MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA (São Paulo: 5-6/abril/1995). **Anais**. São Paulo: IPEF-IPT-IUFRO-ESALQ, 1995, p.20-30.

COUTO, HTZ.; BRITO, JO. Inventário de biomassa. In: SEMINÁRIO ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS. **Anais**. Piracicaba: IPEF-Série Técnica, v.1, n.2, p.A1-A13, 1980.

CRUZ, ES.; NOGARA, C. Manual do operador de caldeira. Departamento de Energia/IEL/SENAI. Curitiba, 1997.

CTFT – CENTRE TECHNIQUE FLORESTIER TROPICAL. Resultados de 20 estudos de produtos de destilação de madeiras amazônicas. SUDAM, Belém, 1971. 38.p.

D'ÁVILA, SG.; MAKRAY, ZT. Gaseificadores de madeira aspectos técnicos e econômicos. In: **Uso da madeira para fins energéticos**, CETEC, Belo Horizonte, 1981.

DEARDORFF, D. Directy combustion systems: wet wood waste as a viable fuel supply. In: WOOD RESIDUE AS NA ENERGY SOURCE. **Proceedings No. P-75-13**. Forest Products Research Society, Madison, EUA, 1975. p . 89-91

DELESPINASSE, BFM. **Simulação de análise de investimentos na indústria de compensados no Brasil**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

DEMING, WE. **Quality, productivity and competitive position**. MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECNOLOGY, 1982, 373p.

DEPARTMENT OF ENERGY/UNITED STATES OF AMERICA. **Eletricity from biomass: National Biomass Power Program five-year plan(fy 1994-fy1998)**. Washington, 1993. 35p. (SOLAR THERMAL AND BIOMASS POWER ENERGY/OFFICE OF SOLAR ENERGY CONVERSION)

DEPARTAMENTO COMÉRCIO EXTERIOR - DECEX. Relatório, 1994.

- DILLY, C. Fuel cleaning and grinding. In: **WOOD RESIDUE AS NA ENERGY SOURCE. Proceedings No. P-75-13.** Forest Products Research Society, Madison, EUA, 1975. p .46-49
- DINIZ, VY. Gaseificação de madeira e carvão vegetal. In: **Gaseificação de madeira e carvão vegetal**, CETEC. Belo Horizonte, 1981, p.113-131.
- DNAEE - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Portaria 1568 DE 23/12/1993. 1993.
- DOAT, J. Le pouvoir calorifique des bois tropicaux. **Revue Bois et Forêts des Tropiques**, n. 172, Mars-avril, 1977, p.33-55.
- DOE – U. S. Department of Energy . DOE Biomass Power Program – Strategic Plan 1996-2015. U.S. Department of Energy – Office of Solar Thermal, Biomass Power and Hidrogen Technologies, 1996.
- DOMSCHKE, A . G. Eletrônica embarcada: a possibilidade em termos tecnológicos e de custo do motor multicomcombustível. In: **SEMINÁRIO COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS NO BRASIL ATUAL: ASPECTOS TÉCNICOS, ECONÔMICOS E AMBIENTAIS**, *Anais*, 14-15, agosto, 1990, São Paulo, 1990, p.105-139.
- DUMON, R. **Valorisation énergétique du bois et de la biomasse: l'énergie verte**. Ed. Masson, Paris, 1982, 201p.
- DUMONT, R. **La forêt – Source d'énergie et d'activité nouvelles**. Masson. 1980
- EARL, DE. **Forest energy and economic development**. Ed. Clarendon Press, Oxford. 1975. 117p.
- EKONO YO. **Power and heat plants: study for the FAO portfolio of small-scale forest industries for developing countries**. Helsinki, Finland. 1980. 73p.
- ELLIS, TH. Role of wood residue in the National Energy Picture. In: **WOOD RESIDUE AS NA ENERGY SOURCE. Proceedings No. P-75-13.** Forest Products Research Society, Madison, EUA, 1975. p . 17-20
- ELLIS, EL. New Zealand forest and energy. SMITH, W. Ramsay, Ed. **Energy from forest biomass**. Academic Press, New York, 1982. p . 67-86.
- FALCON, A.; DAMASCENO, CF.; RANGEL, GF. Influências das variações de composição de combustíveis no desempenho, rendimento e durabilidade do moto otto. In: **SEMINÁRIO COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS NO BRASIL ATUAL: ASPECTOS TÉCNICOS, ECONÔMICOS E AMBIENTAIS** (São Paulo, 14-15, agosto, 1990). *Anais*. São Paulo, 1990. p.3-16.
- FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Forestry Statistics today for tomorrow**. Rome, 1993a. 47p.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Yearbook forest products**. 1990, Roma, 1992
- FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Yearbook of forest products**. Roma, 1991a.
- FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Conservacion de energia em las indústrias mecánicas forestales**. Estudio FAO: Montes 93. ONUDI, 1991b. 129p.



FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Introduction to ergonomics in forestry**. Rome, 1990. 201p.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Yearbook of forest products**. Rome, várias edições.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Monthly Bulletins of Tropical Timber**. Rome, 1993b. 90p.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Memoria: Reunion Regional sobre generacion de electricidad a partir de biomasa**. Montivideo, Uruguai, 23-27/10;1995. **Serie Forestal no. 7** Roma, 1996. 215p.

FAZZIO, ECM. O uso da floresta com supridora de energia. In: SEMINÁRIO ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS. **Anais**. Piracicaba: IPEF- Série Técnica, v.1, n.2, p.H1-H8, 1980.

FERREIRA, CM. Combustão. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, **Curso de informação sobre combustíveis e combustão**. Rio de Janeiro. s.d. 31p.

FONTES, P. J. P. Auto-suficiência energética em serraria de *Pinus* e aproveitamento dos resíduos. Curitiba, UFPR, 1994. 140p. (Dissertação de Mestrado).

FRANCO, RM. A situação ambiental no Brasil. Centro Interdisciplinario de Estudios sobre el Desarrollo LatinoamericanoKonrad-Adenauer Stiftung AC. **La situación ambiental en America Latina algunos estudios de caso**. Buenos Aires: 1991. p.141-186.

FREITAS, M. de O setor florestal em perspectiva. Vice-Presidência de Recursos Florestais/Champion Papel e Celulose Ltda. Curitiba, 2000, 7p. (Palestra ministrada em 29.04.2000 na Associação Paranaense de Engenharia Florestal)

FREITAS, MAV. A biomassa e a Matriz Energética Brasileira. São Paulo: CENBIO e ANEEL. 1 disco compactado (74min.): digital n°82293252-2046. Guia de Investimento em Energias Renováveis no Brasil. In: Série Estudos e Informações Hidrológicas e Energéticas no.4, 1998. p . 1-7, 1997.

FREITAS, MAV., et. alii... Estado da arte para o desenvolvimento agro-industrial descentralizado das bioenergias no Brasil. ., São Paulo: CENBIO e ANEEL. 1 disco compactado (74min.): digital n°82293252-2046. Guia de Investimento em Energias Renováveis no Brasil. In: Série Estudos e Informações Hidrológicas e Energéticas no.4, 1998. p . 1-11

FUNG, PYH. Wood energy prospects. SMITH, W. Ramsay, Ed. **Energy from forest biomass**. Academic Press, New York, 1982. p.155-170.

GOLDSTEIN, IS. New technology for new uses of wood. **TAPPI**, 3(2):105-108, 1980.

GONÇALVES, SLF. **Análise da indústria do segmento laminados e compensado do Estado do Amazonas**, 1996. 1998. 99p. Dissertação Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná.

GRAÇA, GG. Energia e floresta: tendências e potencialidades brasileiras de emissão e captação de dióxido de carbono. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE NA INTEGRAÇÃO DA BACIA DO PRATA. **Anais**. Porto Alegre, 1992

GRANDJEAN, E. **Fitting the task to the man**. London, Taylor & Francis, 1968. 363p.

GRESHAM, GE. Mercado de madeira de florestas plantadas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DE MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA (São Paulo: 5-6/abril/1995). **Anais**. São Paulo: IPEF-IPT-IUFRO-ESALQ, 1995, p.140-165.

GRESHAM, GE. Changes in international trading in solid wood products. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA e I ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRIO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO (1: Belo Horizonte, MG: 7-11/dezembro/1998). **Anais**. Viçosa, MG: SIF-UFV/DEF, 1998. 20-28p.

GUILLEMINOT, J. O pneumático e a economia de combustíveis. MINISTÉRIO DOS TRANSPORTE/DNER/INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS, Economia de combustível: ciclo de palestra, 1980, p.3-8.

HAGEN, K. G. e BERG, C. A. Wood residue fired gas turbine cycle. In: ENERGY AND THE WOOD PRODUCTS INDUSTRY. **Proceedings** p-76-14; Forest Products Research Society. Madison, Wisconsin. 1976. p. 123-133

HARLOW, C. Energia dendrométrica. In: SIMPÓSIO SOBRE BIOMASSA COMO ENERGIA NA INDÚSTRIA. IDEG/FIRJAN, Rio de Janeiro, 1981.

HELVOGT, E. Know ledge of specifics can cut eletric bill. In: MODERN PLYWOOD TECHNIQUES, vol. 3.: **Proceedings**, Third Plywood Clinic, LAMBERT, H. G. Ed.; Portland, Oregon, March, 1975. 240p. 73-93p.

HIRATA, T. Evalluation of wood fuel combustion in hot water boilers. SMITH, W. Ramsay, Ed. **Energy from forest biomass**. Academic Press, New York, 1982. p. 221-252.

HOCHHEIM, N. & MARTIN, P. Influência da qualidade das toras no processo de fabricação, rendimento, custo e rentabilidade da madeira serrada. In: VII CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, **Anais**, vol. 2. Curitiba, 19-24, setembro, 1993. p. 644-646.

IBDF. INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL - **O setor florestal brasileiro, 79/85**. Brasília, 1985. 65p.

IBGE. **Anuário estatístico brasileiro**. Rio de Janeiro, 1997.

ITTO. INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION. Controle de qualidade nas indústrias florestais primárias. Documento de Informação 2. 1991, 13p.

IWAKIRI, S. Developing a model of integrated wood processing complex for sustainable forestry in the Amazon Region. FAO/ Center for Regional Development. 1992. 56p.

IWAKIRI, S. Secagem de lâminas de madeira. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ/SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS/DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E TECNOLGIA RURAIS. Curso Tecnologia da madeira: transformação da madeira. Laminação de madeira, v.2, parte 4, p 1-22. Curitiba, 1994.

IWAKIRI, S. Rendimento e condições de desdobro de algumas espécies de madeira da Amazônia. INPA, Manaus, 1984. Série Técnica, n.1. 13p.

JANCZAK, J. Técnicas simples para La obtención de combustibles básicos. Nairobi, agosto 1981. p30-36. (Documento apresentado à FAO).

- JANKOWSKY, IP. Qualidade das lâminas de *Pinus strobus* (Martinez) var. chiapensis obtida por desenrolamento. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO (3: Manaus, 1978). **Silvicultura**, n.2, p. 9-12. 1978.
- JANKAUSKIS, J. Rendimento em serraria de trinta espécies madeiras amazônicas. SUDAM/Centro Tecnologia Madeireira, Belém, 1981.
- JARA, ERP. A geração de resíduos pelas serrarias. **Boletim ABPM** no. 59, São Paulo, setembro, 1987. 5p.
- JARDIM, JLF. Qualidade dos combustíveis automotivos situação atual e perspectivas. In: SEMINÁRIO COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS NO BRASIL ATUAL: ASPECTOS TÉCNICOS, ECONÔMICOS E AMBIENTAIS (São Paulo, 14-15, agosto, 1990). **Anais**. São Paulo, 1990. p.3-16.
- JASPER, M. and KOCH, P. Suspension burning of waste wood for direct firing of dry kilns . In: WOOD RESIDUE AS NA ENERGY SOURCE. **Proceedings No. P-75-13**. Forest Products Research Society, Madison, EUA, 1975. p .70-72
- JUNGE, D. Energy alternatives for the forest products industries. In: WOOD RESIDUE AS NA ENERGY SOURCE. **Proceedings No. P-75-13**. Forest Products Research Society, Madison, EUA, 1975. p .35-38
- JUVILLAR, JB. A madeira como combustível. CNI. **Biomassa coadjuvante na oferta total de energia**, v. 8, Brasília, 1984. p. 45-53.
- KARCHESY, J.; KOCH, P. Energy production from hardwoods growing on southern pine sites. Technologie Report SO-24, U.S. Department Agriculture/Forest Service, 1979
- KEHR, M. **Manual dos comandos elétricos**. Revife, ed. Saltes, 1993. 110p.
- KEINERT JR. S. Madeira: alternativa para chapas de fibras. **Brasil Madeira**, IV(46):18-24, 1980.
- KEINERT JR., S. Laminação e colagem de madeira. Universidade Federal do paraná, Departamento de Engenharia e Tecnologia Rurais. Curso Tecnologia da madeira: transformação da madeira. Laminação de madeira, v.2, parte V,p1-66. Curitiba, 1994.
- KLEINAU, JH.; JAIN, SC. Economical recovery of energy from wood residues using fluidized bed combustion systems. In: ENERGY AND THE WOOD PRODUCTS INDUSTRY. **Proceedings** p-76-14; Forest Products Research Society. Madison, Wisconsin. 1976. p. 111-116
- KNAPP, H. J. Potential of industrial wood residue for energy. In: ENERGY AND THE WOOD PRODUCTS INDUSTRY. **Proceedings** p-76-14; Forest Products Research Society. Madison, Wisconsin. 1976. p. 105110
- KNOEDT, C. Cenário: uma visão otimista sobre os investimentos no setor energético brasileiro. **Brasil Energia**, n. 208, Rio de Janeiro, Março, 1998. p. 8-10
- KOCH, P. Material balances and energy required for manufacture. In: ENERGY AND THE WOOD PRODUCTS INDUSTRY. **Proceedings** p-76-14; Forest Products Research Society. Madison, Wisconsin. 1976. p. 24-33
- KOLLMANN, FFP.; COTÊ, WA . **Principles of wood science and technology**. Springer Verlag, Berlin, 1968, 592p. 2vol.

KOLLMANN, FP. Wood machining. In: **Principles of Wood Science and Technology**, Franz, F. P. Kollmann & Wilfred A. Côté Jr., Ed., Springer-Verlag, New York Inc.. 1964. p. 475.

KROGH, G. Biomassa: uma fonte energética do Brasil para consumo interno e exportação: aplicação de tecnologia avançada no seu aproveitamento para fins energéticos. CNI. **Biomassa coadjuvante na oferta total de energia**, v.8, p. 28-43 Brasília, 1982.

LAGE, RM; CAMPOS, AC. Gás liquefeito de petróleo. Instituto Brasileiro de Petróleo, Curso de informação sobre combustíveis e combustão. Rio de Janeiro, 14p. s.d.

LARSON, E . Biomass for electricity production, Itamaraty, Brasília, 1997.

LASTRA, MCG. De la. Fundos de investimento para o reflorestamento no âmbito do Mercosul. **Revista da madeira**, n.38, ano 6, p.45-46, 1998.

LEMAN, MJ. Boiler plant firing salt water Soaked hog fuel. In: WOOD RESIDUE AS NA ENERGY SOURCE. **Proceedings No. P-75-13**. Forest Products Research Society, Madison, EUA, 1975. p . 60-65

LENGEL, DE. How to reduce energy requirements in new and old installations. In: WOOD RESIDUE AS NA ENERGY SOURCE. **Proceedings No. P-75-13**. Forest Products Research Society, Madison, EUA, 1975. p . 13-16

LEONTSINIS, E. Óleo Diesel. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, Curso de informação sobre combustíveis e combustão. Rio de Janeiro. s.d. 31p.

LIMA, ES. Novos rumos e desafios da indústria moveleira. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA (1: Belo Horizonte, MG, 7-11/dezembro/1998). **Anais**. Viçosa, MG: SIF; UFV, DEF, 1998. 65-68p.

LUTZ, JF. **Wood Veneer: Log selection, cutting and drying**. USDA. Technical Bulletin, 1957, 1978.

MACLAIN, WH. Colorado's industrial roundwood production and mill residues. United States Department of Agriculture, Forest Service, Source Bulletin, april, 1985.

MANUAL GLOBAL DE ECOLOGIA: o que você pode fazer a respeito da crise do meio ambiente. Editor CORSON, W. H.. Augustas Ed., São Paulo, 1993, 413p. (Tradução de Alexandre G. Camaru).

MARRA, GG. The economic power of an integrated wood products industry for ferry county. **Bulletin** no. 289. INSTITUTE OF TECHNOLOGY, Washington State University, Washington, 1964. 15p.

MARTINS, H. Madeira como fonte de energia. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais: **Uso da madeira para fins energéticos**. Belo Horizonte, 1980, p.10-26.

MASON, HC. Closing remarks. In: WOOD RESIDUE AS NA ENERGY SOURCE. **Proceedings No. P-75-13**. Forest Products Research Society, Madison, EUA, 1975. p . 118.

MATHEWS, JT. Redefining security. Foreign Affairs, Spring, 1989, p.172.

MENEZES, LF. Desdobro, secagem e beneficiamento da madeira de eucalipto – experiência da Flosul. In: I SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA e I ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRIO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE

EUCALIPTO, Belo Horizonte, MG, 7-11/dezembro/1998. – Viçosa, MG: SIF; UFV, DEF, 1998. 261-265p.

MIGLIORINI, AJ. Densificação de biomassa florestal. In: SIMPÓSIO ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS. *Anais*. Piracicaba: IPEF, v.1, p. c1-c9, 1980.

MIRANDA, RC. Posibilidades de cogeneracion de energia electrica a base de residuos de madera generados en la industria forestal de Honduras. In: REUNION REGIONAL SOBRE GENERACION DE ELETRICIDAD A PARTIR BIOMASSA (7: Montevideo, Uruguay, 23-27-outubro-1995) *Anais*. ROMA: FAO, Série Forestal, 1996. p . 67-72.

MITRE, MN. Caldeiras para queima de madeira e bagaço. In: **Produção e utilização de carvão vegetal**, CETEC, Belo Horizonte, 1982. p.319-348

MOORE, B. Mill residues: what ar they really worty. In: WOOD RESIDUE AS NA ENERGY SOURCE. **Proceedings No. P-75-13**. Forest Products Research Society, Madison, EUA, 1975. p . 21-26

MOSLEMI, AA. Tree biomass. In: **Energy from forest biomass**, Smith, W. R. Ed., Academic Press, New York, 1982, 55-65p.

MOUSASTICOSHVILY JR.; GRAÇA, A comercialização da virola no estuário amazônico. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO FLORESTAL, 2. 1991, Curitiba. *Anais*. Curitiba: EMBRAPA, 1991, p. 363-374.

MUENCH, J. Energy supply trends: the need for a “Project independence” in the wood products industry. In: WOOD RESIDUE AS NA ENERGY SOURCE. **Proceedings No. P-75-13**. Forest Products Research Society, Madison, EUA, 1975. p . 2-4

NAHUZ, MAR.; FRANCO, N. e FIGUEROA, FMZ. Uso estrutural da madeira de eucalipto: experiência do IPT. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA e I ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO (1: Belo Horizonte, MG, 7-11/dezembro/1998). *Anais*. Viçosa, MG: SIF; UFV, DEF, 1998. 125-133p.

NOGUEIRA, LAH. Experiências de geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil aspectos técnicos e econômicos. In: REUNION REGIONAL SOBRE GENERACION DE ELETRICIDAD A PARTIR BIOMASSA (7: Montevideo, Uruguay, 23-27-outubro-1995) *Anais*. ROMA: FAO, Série Forestal, 1996a. p . 48-61

NOGUEIRA, LAH. Uso de biomassa florestal para geração elétrica em grande escala: o projeto “WBP-SIGAME” brasileiro. In: REUNION REGIONAL SOBRE GENERACION DE ELETRICIDAD A PARTIR BIOMASSA (7: Montevideo, 23-27-outubro-1995) *Anais*. ROMA: FAO, Série Forestal, 1996b. p.106-116.

OLIVEIRA, ET. Análise setorial das exportações brasileiras de lâminas, compensados, chapas de fibra e madeira aglomerada. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMIA FLORESTAL (1: Curitiba, 23-27/maio/1988). *Anais*, v.1, Curitiba: 1988. p213-234.

OLIVEIRA, IMV.; SEIXAS, F. Estudo de dieta balanceada para operadores de moto-serra. *Ipef*, Piracicaba, n. 30, p.19-27, 1985.

OLIVER, PE. Energy accounting: measuring fuel costs. In: MODERN PLYWOOD TECHNIQUES, vol. 3.: **Proceedings**, Third Plywood Clinic, LAMBERT, H. G. Ed.; Portland, Oregon, March, 1975. 240p. 94-111p.

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE TRABAJO (OIT). Guia de seguridad e higiene em los trabajos florestales. Ginebra, 1968. 244p.

OVEREND, R.; SILVERSIDES, R. Energy from forest biomass – a canadian perspective. In: THE EFFICIENT USE OF THE WOOD RESOURCE, 9-16, April, 1980, IUFRO 5<sup>o</sup> Conference, Oxford, U.K., **Proceedings**, 43-61p., 1980

PIERRE, C.; SILVA, DA. Estudo da casca de diferentes espécies *Pinus* para produção de energia térmica. In: EVINCI (8: Curitiba, 26-28/outubro/2000). **Anais**, p. 383, 2000.

PINHÃO, R. Caldeiras. <http://usuários.uninet.com.br/rpinhao/index.htm>. 27/09/2000.

PINGREY, W. Forest products energy overview. In: ENERGY AND THE WOOD PRODUCTS INDUSTRY. **Proceedings** p-76-14; Forest Products Research Society. Madison, Wisconsin. 1976. p. 1-16

PONTES, RS.; SILVA, DA. Aproveitamento dos resíduos da indústria madeireira para uso energético. In: SEMINÁRIO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (4: Manaus, 26-27/mar/1991). **Anais**, Manaus: FUA-INPA-CNPq, 1991. p.9.

PORTER, SM.; ROBINSON, RW. Waste fule preparation system. In: ENERGY AND THE WOOD PRODUCTS INDUSTRY. **Proceedings** p-76-14; Forest Products Research Society. Madison, Wisconsin. 1976. p. 72-79.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **O desafio do desenvolvimento sustentável**. Brasília: Relatório do Brasil para a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CIMA), 1991. 204p.

PRESTON, SB. Intermediate technolgy in deriving energy from forest biomass. SMITH, W. Ramsay, Ed. **Energy from forest biomass**. Academic Press, New York, 1982. p. 95-108.

REDDY, JN. **Energy and variational methods in applied mechanics**. Ed. John Wiley & Sons, N. Y., 1984. 545p.

RESCH, H. Densified wood and bark fuels. SMITH, W. Ramsay, Ed. **Energy from forest biomass**. Academic Press, New York, 1982. p. 109-128.

REVISTA DA MADEIRA. Um espaço no mercado competitivo. nº38, ano6. p.4-6. 1998.

ROJAS-BELMAR, A. Cogeneracion usando desechos de madera como combustible principal. In: REUNION REGIONAL SOBRE GENERACION DE ELETRICIDAD A PARTIR BIOMASSA (7: Montivideo, Uruguay, 23-27-outubre-1995) Roma: FAO-Serie Tecnica Forestal, 1996. p. 62-67.

ROSS, M. Improving the efficiency of eletricity use in manufacturing. *Science*, v. 224, april 21, 1989, p.316.

SANT'ANA CM. **Análise de fatores ergonômicos no corte de eucalipto com motosserra em região montanhosa**. Curitiba: 1998.161f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SBS. SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. A sociedade brasileira e o seu padrão florestal. São Paulo, 1990. 18p.

SEIP, GG. **Instalações elétricas**. São Paulo, ed. Nobel, v.1, 1984. (Trad. W. Schmidt e N. Menegon).

SEIXAS, F.; ANTIQUEIRA, AC. Avaliação do esforço físico de operadores de moto-serra no processamento de árvores empilhadas. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO (7: Curitiba, 19-24/set/1993). **Anais**, Curitiba: v.2, 1993. 673-675p.

SEIXAS, F. Avaliação do esforço físico despendido em operações florestais: um exemplo na operação de colheita de sementes. IPEF, Série Técnica, Piracicaba, n. 22, v.7, p1-16, 1991.

SERRANO, O.; BULL, G.; LEE, D. Global wood resources production and international trade of forest products. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA e I ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO (1: Belo Horizonte, MG, 7-11/dezembro/1998). **Anais**. Viçosa, MG: SIF; UFV, DEF, 1998. 1-19p.

SCHELEDER, EMA. Cogeração e o sistema elétrico brasileiro. Seminário OPORTUNIDADES PARA COGERAÇÃO NA INDÚSTRIA QUÍMICA (ABEQ). São Paulo, 1997.

SCHEFFLER, L. Informação pessoal. STCP, 2001

SHADE, RA. Energy conservation in the forest products industry. In: ENERGY AND THE WOOD PRODUCTS INDUSTRY. **Proceedings** p-76-14; Forest Products Research Society. Madison, Wisconsin. 1976. p. 17-23

SILVA, JCGL. **Análise da eficiência econômica de indústrias de compensados do Estado do Paraná**. Curitiba: 1987. 148f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SOUZA, PF. **Indústria Madeireira**. Imprensa Nacional, Rio de Janeiro, 1947. 344p.

SIMULA, MT.; TISSARI, JT. Market prospects for *Eucalyptus* solid wood products in the European Common Market. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA e I ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO (1: Belo Horizonte, MG, 7-11/dezembro/1998). **Anais**. Viçosa, MG: SIF; UFV, DEF, 1998. 29-48p.

SMITH, WR. Characteristics of international trade in forest products. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRA e I CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO. (7: Curitiba, 19-24/setembro/1993). **Anais**. Curitiba: SBEF-SBS, 1993, p. 55-60.

SPERANDIO, JP. **Estudo econométrico de demanda e oferta de compensado para o Estado do Paraná**. Curitiba: 1989. 110f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

STCP. **Relatório técnico**. Curitiba, 1995. (Não publicado).

STOUT, MB. **Curso básico de medidas elétricas**. Rio de Janeiro, Ed. Livros Técnicos e Científicos; São Paulo, Ed. Edusp, 1974. 119p. (Tradução A . B. Lima)

TAUTZ, C. Eletricidade: reforço na transmissão tem programa de R\$28 bilhões. **Brasil Energia**, Rio de Janeiro, n. 208, março, 1998. p. 37-40

TAVARES, MFR. **Análise técnica e econômica do desdobro de toras de Pinus**. Viçosa: 1988. 68f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal de Viçosa.

TESCH, HG. Locomóvel. In: **Produção e utilização de carvão vegetal**, CETEC, Belo Horizonte, 1982. p. 359-378

TILLMAM, DA. The cost of electricity from silvicultural fuel farm-based. SMITH, W. Ramsay, Ed. **Energy from forest biomass**. N.York, Academic Press, p.253-274,1982.

TILLMAM, DA. **Wood as an energy resource**. N.York, Academic Press, 1978. 352p.

TOMASELLI, I. Introdução de espécies pouco conhecidas da indústria de compensado da Amazônia. In: ANAIS. I ENCONTRO INTERNACIONAL DE COMPENSADOS DE MADEIRA TROPICAL, Manaus, 27 à 30/10/1992. Manaus, 1992. p. 73-94.

TOMASELLI, I. Incentivo e restrições às exportações do setor florestal: madeira compensada. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMIA FLORESTAL (1: Curitiba, 23-27/mar/88). **Anais**, Curitiba: EMBRAPA-UFPR, v.1, 1988, p.307- 321.

TOMASELLI, I. Perspectivas na produção de energia a partir da biomassa florestal. In: FLORESTAS PLANTADAS NOS NEOTRÓPICOS COMO FONTE DE ENERGIA (Viçosa: 6-13/fev/1983). **Anais**, Viçosa: IUFRO-MAB-UFV, 1983. p. 371-383.

TOMASELLI, I. Liquidification of wood. In: **Energy from forest biomass**, Smith, W. R. Ed., New York, Academic Press, 1982, 209-218p.

TOMASELLI, I. Secagem das lâminas para indústria de painéis. **Madeira Móveis**, n.1, v.1, p.27-33, 1983.

TOMASELLI, I. A indústria de painéis no Brasil e no mundo: tendências de mudança do perfil de produção e usos. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA e I ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRAMENTO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO (1: Belo Horizonte, MG, 7-11/dezembro/1998). **Anais**. Viçosa, MG: SIF; UFV, DEF, 1998a. 55-64p.

TOMASELLI, I. Mercado e comercialização de madeiras. **Revista da madeira**, n.38, ano 6, p.10-16. 1998b.

TOMASELLI, I.; SIMULA, MT. A exportação de toras pode ser uma alternativa interessante a curto prazo. **Madeira e Tecnologia**, ano 11, n. 10, 1998. p.22-23.

TORREIRA, R. P. **Geradores de vapor**. São Paulo, ed. Companhia Melhoramentos e Libris, 1995. 710p.

TROSSERO, AM. Generacion electrica a partir de combustibles vegetales: aspectos tecnicos, economicos y ambientales. In: REUNION REGIONAL SOBRE GENERACION DE ELETRICIDAD A PARTIR BIOMASSA (7: Montivideo,Uruguay, 23-27-outubro-1995) Roma: FAO-Serie Tecnica Forestal, 1996. p . 62-67.

TUSET, R.; DURANT, F. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Ed. Hermisfério Sur, 1979. 688p.

U.S. Department of Energy . Southeastern Regional Biomass Energy Program, **The Handbook of Biogas Utilization**, Environmental Treatment Systems, Inc., 250p. EUA, 1996.



UYENO, S. Aerodinâmica de veículos. In: ECONOMIA DE COMBUSTÍVEL: CICLO DE PALESTRAS. Ministério dos Transporte/DNER, São Paulo, 1980, p.8-12.

VANELLI, LS.; ARCHIBALD, WB. Economics of hog fuel drying. In: ENERGY AND THE WOOD PRODUCTS INDUSTRY. **Proceedings** p-76-14; Forest Products Research Society. Madison, Wisconsin. 1976. p. 59-62

VENTURA, LM. Influência da qualidade do combustível no desempenho, rendimento e durabilidade do motor diesel. In: SEMINÁRIO COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS NO BRASIL ATUAL: ASPECTOS TÉCNICOS, ECONÔMICOS E AMBIENTAIS (São Paulo, 14-15, agosto, 1990). **Anais**. São Paulo, 1990 p.17-29.

VIANA, P. Os instrumentos da política florestal para a Amazônia. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE COMPENSADOS DE MADEIRA TROPICAL (1: Manaus, 27-30, outubro, 1992). **Anais**, São Paulo: ABIMCI, 1992, p. 19-29.

YOWEZAWA, M. As perspectivas do uso da floresta como supridora de energia na Cia. Suzano de Papel e Celulose. In: SEMINÁRIO ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS. **Anais**. Piracicaba: IPEF- Série Técnica, v.1, n.2, p.G1-G9, 1980.

WALKER, JCE. **Primary wood processing: principles and pratic**. Hardcover Published. 1996.

WALTER, A. Estado da arte das tecnologias de alto desempenho de produção de eletricidade a partir da biomassa. ., São Paulo: CENBIO e ANEEL. 1 disco compactado (74min.): digital n°82293252-2046. Guia de Investimento em Energias Renováveis no Brasil. In: Série Estudos e Informações Hidrológicas e Energéticas no.4, 1998. 28p .

WOLF, J. Combustion control woodwaste fired boillers. In: ENERGY AND THE WOOD PRODUCTS INDUSTRY. **Proceedings** p-76-14; Forest Products Research Society. Madison, Wisconsin. 1976. p. 86-92

WORLD ENERGY COUNCIL. Report 1992 - International energy data. Whashington, 1992.

WORLD RESOURCES INSTITUTE. World resource. Washington, 1988, p.121.

ZUGMAN, IC. Painel geral sobre a produção de compensados. **Silvicultura**, n. 55, p. 12-18, 1994.

ZUGMAN, IC. Estruturas das indústrias e comércio de madeira compensada e laminada no Brasil e no Mundo. In: I SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, Belo Horizonte, MG, 7-11/dezembro/1998. – Viçosa, MG: SIF; UFV, DEF, 1998. 49-54p.

## ANEXO

## ANEXO A

DADOS REAIS (MEDIÇÃO) DOS EQUIPAMENTOS EM FUNCIONAMENTO POR  
SETOR DA INDÚSTRIA

TABELA A1.Dados da Laminadora

Descrição	Leitura (Nº)	Unidade	Média	Coef. Var.(%)	Máximo	Mínimo
Torno A (5 motores):						
Ligado	32	Ampère	16,3	26,82	24,0	10,1
	15dias	Horas/dia	21			
Laminando	560	Ampère	64,8	85,09	776	12
	15dias	Horas/dia	21			
Torno B(4 motores):						
Ligado	28	Ampère	24,0	13,01	32	19
	15dias	Horas/dia	9,3			
Laminando	704	Ampère	57,2	114,5	359	18
	15dias	Horas/dia	9,3			
Talhas(3 unidades,6 motor)	306	Ampère	37,6	74,84	144	3,1
	15dias	Horas/dia	9,3			
Correia transportadora	14	Ampère	25,7	1,56	26,2	25,1
	5dias	Horas/dia	9,3			
Serra múltipla(serra rolete)	27	Ampère	35,5	27,04	61	24
	5dias	Horas/dia	9,3			
Compressores(3 unidades)	28	Ampère	23,1	14,72	26,9	18,9
	5dias	Horas/dia	8,3			
Enrolador de lâminas(2un.)	26	Ampère	4,2	16,39	6,2	3,3
	5dias	Horas/dia	9,3			
Guilhotinas (5 un.; à vácuo)	---	---	---	---	---	---
Afiador de faca do torno	7	Ampère	10,6	1,89	10,8	10,3
	2dias	Horas/dia	2			

TABELA A2.Dados da Fábrica

Descrição	Leitura (Nº)	Unidade	Média	Coef. Var.(%)	Máximo	Mínimo
Setor de Secagem						
Secador A	44	Ampère	157,8	1,65	164	153
	5dias	Horas/dia	24			
Secador B	44	Ampère	151,6	1,25	161	149
	5dias	Horas/dia	24			
Estufa A	30	Ampère	28,8	3,12	30,0	27,2
	2dias	Horas/dia	24			
Estufa B	22	Ampère	25,0	1,84	25,8	24,1
	2dias	Hora/dia	24			
Setor de Geração de Vapor (Caldeira)						
Bomba água fria(Lamín.)	24	Ampère	21,7	3,25	22,9	20,0
	2dias	Horas/dia				
Bomba água quente(Lam.)	12	Ampère	13,4	0,99	13,6	13,2
	2dias	Horas/dia				
Bomba água fria(Fábr.)	10	Ampère	16,7	0,59	16,8	16,5
	2dias	Horas/dia				
Bomba água quente(Fábr.)	10	Ampère	22,9	0,87	25,0	19,1
	2dias	Horas/dia				
Exaustor caldeira (Fábr.)	10	Ampère	62,9	2,38	64,8	61,0
	2dias	Horas/dia				
Setor de Preparação e Montagem						
Bomba tanque de cola	22	Ampère	15,0	1,33	15,2	14,6
	1dia	Horas/dia	1,0			
Batedeira de cola branca	13	Ampère	7,5	5,33	8,0	6,7
	1dia	Horas/dia	1,0			
Batedeira de cola vermelha	13	Ampère	8,1	19,75	10,1	5,5
	1dia	Horas/dia	1,1			
Passadeira de cola branca	12	Ampère	5,0	2,01	5,1	4,9
	1dia	Horas/dia	8			
Passadeira de cola vermelha	12	Ampère	3,1	0,32	3,2	3,0
	1dia	Horas/dia	8			
Guilhotina	11	Ampère	3,5	14,28	4,2	2,7
	1dia	Horas/dia	3,2			
Juntadeira de lâminas	22	Ampère	1,3	7,69	1,4	1,2
	1dia	Horas/dia	7			
Setor de Prensagem						
Prensas (média 2 unid.):	30	Ampère	4,2	16,18	7,0	3,6
Motor elevação	10dias	Horas/dia	2,0			
Motor de alta ("erguer")	32	Ampère	38,9	17,42	62,0	31,0
	10dias	Horas/dia	3,0			
Motor calagem ("aperto")	62	Ampère	5,7	29,97	9,0	3,8
	10dias	Horas/dia	3,0			

TABELA A2.Dados da Fábrica

(Continuação)

Descrição	Leitura (Nº)	Unidade	Média	Coef. Var.(%)	Máximo	Mínimo
Setor de Acabamento						
ESQUADREJADEIRA:	10	Ampère	14,6	0,68	14,7	14,5
Ligada	5dia	Horas/dia	2,0			
CORTANDO	36	Ampère	21,5	27,91	35,0	15,0
	5dia	Horas/dia	7,0			
Lixadeira:						
Ligada	20	Ampère	26,7	4,12	29,0	24,4
	10dias	Horas/dia	7			
Lixando com lixa um	38	Ampère	48,2	13,14	54,0	41,4
	10dias	Horas/dia	3			
Lixando com lixa dois	57	Ampère	58,5	20,60	85,0	34,0
	10dias	Horas/dia	3			
Compressor ar (Prensagem/Acabamento)	10	Ampère	19,5	1,02	19,8	19,2
	1dia	Horas/dia	4			
Exaustor lixadeira	14	Ampère	74,5	2,01	77,1	72,1
	1dia	Horas/dia	8			
Setor de Sarrafeado						
Juntadeira de sarrafo:						
Ligada	10	Ampère	15,1	1,32	15,4	14,6
	1dia	Horas/dia	5			
Juntando	10	Ampère	29,3	1,71	30,3	28,4
	1dia	Horas/dia	5			
Compressão	10	Ampère	12,2	1,64	12,4	11,8
	1dia	Horas/dia	5			
Plainas :						
Plaina A: Ligada	10	Ampère	10,1	1,98	10,5	9,8
	1dias	Horas/dia	3			
Cortando	10	Ampère	35,12	1,42	35,9	34,4
	1dia	Horas/dia	3			
Plaina B: Ligada	10	Ampère	30,1	2,99	31,4	28,5
	10dias	Horas/dia	3			
Cortando	10	Ampère	70,4	1,85	72,3	68,5
	1dia	Horas/dia	3			
Destopadeira (méd. 3 unid.)						
Ligada	30	Ampère	4,8	22,16	6,2	3,4
	1dia	Horas/dia	1			
Cortando	33	Ampère	8,93	18,00	12,1	6,9
	1dia	Horas/dia	6			
Exaustor sarrafeado	10	Ampère	67,6	1,03	69,0	67,0
	1dia	Horas/dia	1			

## ANEXO B

## CÁLCULO DE ENERGIA ELÉTRICA POR SETOR DE PRODUÇÃO

TABELA B1. Cálculo de energia elétrica no setor de laminado

Equipamentos	Intensidade corrente (Ampère)	Tensão elétrica (Volt)	Potência elétrica (Watt)	Tempo (Hora/dia)	Energia elétrica (Kwh/mês)	E. elétrica/ equipamento (Kwh)
1. Tornos:						11535
1.1 Torno A: Ligado	16,3	220	3048,1	2	275	
Laminando	64,8	220	12117,3	12	7428	
"Painéis do torno"	23,7	220	4431,9	2,5	499	
1.2 Torno B: Ligado	24,0	220	4488,0	1	202	
Laminando	57,2	220	10696,4	6,5	3131	
1.3 Torno C: não instalado	-	220	-	-	-	
2. Talhas:						2952
2.1 Talha / tanque: Ligada	16,3	220	1295,6	7	200	
Carregando	73,5	220	7028,5	7	1082	
2.2 Talha p/ tornoA: Ligada	23,7	220	1068,8	5	118	
Carregando	24,0	220	5765,3	10	1268	
2.3 Talha p/ tornoB: Ligada	57,2	220	1651,9	2	73	
Carregando	-	220	1846,2	5,2	211	
3. Correia transport. Resíd.	25,7	220	8324,1	12	2198	2198
4. Afiador faca de tornos	10,6	220	3433,3	2,5	189	189
5. Enroladores de lâminas						671
5.1 Enrolador torno A.	4,7	220	1522,3	14	469	
5.2 Enrolador torno B.	3,8	220	1230,8	7,5	203	
6. Guilhotinas (2 unidades)	0	220	0	21,5,5	0	
7. Compressores						1316
7.1 Compressor A	19,8	220	6413,1	4	564	
7.2 Compressor B	26,4	220	8550,8	4	752	
7.3 Compressor C (reserva)	-	220	-	-	-	
Consumo geral no Setor:				181	18861	

TABELA B2. Cálculo consumo de energia elétrica no setor de geração de vapor

Equipamentos	Intensidad e corrente (Ampère)	Tensão elétrica (Volt)	Potência elétrica (Watt)	Tempo (Hora/dia)	Energia elétrica (Kwh/mês)	E. elétrica/ equipament o (Kwh)
1. Caldeira da laminadora						1571
1.1 Bomba de água quente	13,4	220	4340,2	8	868	
1.2 Bomba de água fria	21,7	220	7028,5	4	703	
2. Caldeira da fábrica	84,5		27369,0	24		14348
2.1 Exaustor da caldeira	62,9	220	20372,9	24	12224	
2.2 Bomba de água quente	22,9	220	7417,2	10	1854	
2.3 Bomba de água fria	16,7	220	5406,0	2	270	
3. Consumo geral caldeiras					15919	

TABELA B3. Cálculo consumo de energia elétrica no setor de secagem

Equipamentos	Intensidad e corrente (Ampère)	Tensão elétrica (Volt)	Potência elétrica (Watt)	Tempo (Hora/dia)	Energia elétrica (Kwh/mês)	E. elétrica/ equipamento (Kwh)
1. Secador A	162,5	380	52487,5	24	35272	35272
1.1 Motor um	19,6	380	6330,8	24	4254	
1.2 Motor dois	19,6	380	6330,8	24	4254	
1.3 Motor três	19,6	380	6330,8	24	4254	
1.4 Motor quatro	19,6	380	6330,8	24	4254	
1.5 Motor cinco	14,4	380	4651,2	24	3126	
1.6 Motor seis	14,4	380	4651,2	24	3126	
1.7 Motor sete	14,4	380	4651,2	24	3126	
1.8 Motor oito	14,4	380	4651,2	24	3126	
1.9 Acionador de rolete	8,7	380	2810,1	24	1888	
1.10 Resfriador	17,8	380	5749,4	24	3864	
2. Secador B	182,7	380	59012,1	24	39656	39656
2.1 Motor um	15,4	380	4974,2	24	3343	
2.2 Motor dois	15,4	380	4974,2	24	3343	
2.3 Motor três	15,4	380	4974,2	24	3343	
2.4 Motor quatro	15,4	380	4974,2	24	3343	
2.5 Motor cinco	23,4	380	7558,2	24	5079	
2.6 Motor seis	23,4	380	7558,2	24	5079	
2.7 Motor sete	23,4	380	7558,2	24	5079	
2.8 Motor oito	23,4	380	7558,2	24	5079	
2.9 Acionador de rolete	6,3	380	2034,9	24	1367	
2.10 Resfriador	13,2	380	4263,6	24	2865	
3. Estufas						5761
3.1 Estufa A (Laminadora)	25,1	220	4675,0	24	2917	
3.2 Estufa B (Fábrica)	28,8	220	5385,6	2	2844	
Soma do geral do Setor					80689	

TABELA B4. Cálculo consumo de energia elétrica no setor de prensagem de chapas

Equipamentos	Intensidad e corrente (Ampère)	Tensão elétrica (Volt)	Potência elétrica (Watt)	Tempo (Hora/dia)	Energia elétrica (Kwh/mês)	E. elétrica/ equipamento (Kwh)
1. Prensas: medição p/ motor						2142
1.1 Prensa A:	50,3		16246,9		1083,5	
1.1.1 M. elevação chapa	4,2	380	1356,6	2	76	
1.1.2 M. bomba de alta	39,7	380	12823	2	718	
1.1.3 M. bomba de calagem	6,4	380	2067,2	5	289	
1.2 Prensa B	48,9		15794,7		1058,0	
1.2.1 M. elevação chapa	4,2	380	1356,6	2	76	
1.2.2 M. bomba de alta	38,3	380	12370,9	2	693	
1.2.3 M. bomba de calagem	6,4	380	2067,2	5	289	
2. Prensas medição direta						2113
2.1 Carregando	26,4	380	8527,2	4	955	
2.2 Prensando (calagem)	12,8	380	4134,4	10	1158	
Soma do geral do Setor					2113	

TABELA B5. Cálculo consumo de energia elétrica no setor de preparação / montagem

Equipamentos	Intensidad e corrente (Ampère)	Tensão elétrica (Volt)	Potência elétrica (Watt)	Tempo (Hora/dia)	Energia elétrica (Kwh/mês)	E. elétrica/ equipamen to (Kwh)
3. Guilhotinas :						189
Ligada	2,3	380	742,9	3,2	67,1	
Cortando	4,2	380	1356,6	3,2	122,0	
2.Juntadeira lâmina(2 und.)						214
Ligada	0,4	380	129,2	14	50,0	
Juntando	1,3	380	419,9	14	164,1	
3. Batedeira de cola:						292
3.1 Bat. Para cola vermelha	8,1	380	2616,3	1,1	81	
3.2 Bat. Para cola branca	7,5	380	2422,5	1,1	75	
3.3 Bomba tanq.col(2und.)	15	380	4845,0	1,0	136	
4. Passadeiras de cola						764
4.1 Passadeira cola branca						
4.1.1 Motor elevação lam.	3,3	380	1065,9	2	60	
4.1.1 Motor rolo de cola	4,7	380	1518,1	8	340	
4.2 Passadeira cola vermel.		380				
4.2.1 Motor elevação lami.	3,3	380	1065,9	2	60	
4.2.2 Motor rolo de cola	4,2	380	1356,6	8	304	
Soma do geral do Setor					1459	

TABELA B6. Cálculo consumo de energia elétrica no setor de acabamento

Equipamentos	Intensidad e corrente (Ampère)	Tensão elétrica (Volt)	Potência elétrica (Watt)	Tempo (Hora/dia)	Energia elétrica (Kwh/mês)	E. elétrica/ equipamen to (Kwh)
1.Esquadrejadeira			11660,3			1042
Ligada	14,6	380	4715,8	2	264	
Cortando	21,5	380	6944,5	4	778	
2.Lixadeira de chapa			62421,6			7189
2.1 Face A:						
Ligada	27,1	380	8753,3	7	1716	
Lixando	80,0	380	25840,0	3	2171	
2.2 Face B:						
Ligada	26,7	380	8624,1	7	1690	
Lixando	59,4	380	19186,2	3	1612	
3. Exaustor da lixadeira	74,5	220	13931,5	8	3121	3121
Soma do geral do Setor					10962	

TABELA B7. Cálculo consumo de energia elétrica no setor de sarrafeado

Equipamentos	Intensidad e corrente (Ampère)	Tensão elétrica (Volt)	Potência elétrica (Watt)	Tempo (Hora/dia)	Energia elétrica (Kwh/mês)	E. elétrica/ equipamen to (Kwh)
1. Serra de sarrafos						1423,2
Ligada	26,3	220	4918,1	2	216,4	
Serrando	41,9	220	7835,3	6	1206,8	
2. Juntadeira de sarrafo						574,6
Ligado	15,1	220	2823,7	1	62,2	
Juntando	29,3	220	5479,1	3	361,8	
Compressão	12,2	220	2281,4	3	150,6	
3. Plainas						1798
3.1 Plaina A:						
Ligada	10,1	220	1888,7	3	125	
Cortando	35,1	220	6567,4	3	433	
3.2 Plaina B:						
Ligada	30,1	220	5628,7	3	371	
Cortando	70,4	220	13164,8	3	869	
4. Destopadeira						375
Ligada	4,9	220	916,3	6	121	
Cortando	10,3	220	1926,1	6	254	
5. Exaustor do sarrafeado	67,6	220				
Soma do geral do Setor					4171	

TABELA B8. Cálculo consumo de energia elétrica em equipamentos não diretamente ligados aos setor da indústria

Discriminação	Intensidad e corrente (Ampère)	Tensão elétrica (Volt)	Potência elétrica (Watt)	Tempo (Hora/dia)	Energia elétrica (Kwh/mês)
1. Carpintaria					184
1.1 Serra para preparo de embalagens:					
Ligada	8,3	220	1552,1	2,5	85
Serrando	9,6	220	1795,2	2,5	99
5. Iluminação					4467
5.1 Fábrica	30 lâmpadas, 250w		7500	12	2340
5.2 Laminadora	25 lâmpadas 200w		5000	12	1560
5.3 Sarrafeado	20 lâmpadas 60w		1200	12	374
5.4 Administração	31 lâmpadas 60w		1850	8	193
Soma Geral Setor					4651



**TABELA B9. Cálculo consumo de energia elétrica nas unidades de laminação e fábrica de compensado através de medição direta no painel geral<sup>1</sup>**

Unidades Industriais	Intensidad e corrente (Ampère)	Tensão elétrica (Volt)	Potência elétrica (Watt)	Tempo (Hora/dia)	Energia elétrica (Kwh/dia)
1. Fazenda Água Quente	288,7	220	53986,9	9,3	502,1
4. Fábrica de compensado	370		117308,5		2463,5
4.1 Fase um	119	373	37729,0	21	792,3
4.2 Fase dois	131	373	41533,6	21	872,2
4.3 Fase três	120	373	38046,0	21	799,0
Soma do geral do Setor					2965,6

<sup>1</sup> Amostragem durante dois em julho de 1997

## ANEXO C

### DADOS NOMINAIS DOS PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS

**TABELA C1. Levantamento de equipamentos industriais na Laminação**

Equipamento	Int. Corrente (Ampère)	Tensão (Volts)	Rotação (rpm)	Potência Nominal (CV)
1. Torno A:				
Acionador ("vareador")	260	220	Variável	80
Bomba travar tora	28	220	1750	10
Bomba contra-rola	6,5	220	1720	2
Carro porta faca	15	220	1710	5
Redutor contra-faca	1,1	220	1690	1/4
2. Torno B:				
Acionador ("vareador")	260	220	Variável	80
Bomba travar tora	28	220	1750	10
Bomba contra-rola	6,5	220	1720	2
Carro porta faca	15	220	1710	5
Redutor contra-faca	1,1	220	1690	1/4
3. Talhas transporte aérea tora				
Motor um	6,5	220	-	1
Motor dois	28	220	-	5
4. Correia transportadora resid.	28	220	1750	10
5. Afiador de faca de torno				
Motor um	17	220	1740	5
Motor dois	5	220	-	1
6. Serra múltipla p/ rolete				
Motor um	-	220	-	20
Motor dois	-	220	-	20
Motor três	6,5	220	1720	2

TABELA C2. Levantamento de equipamentos industriais na Fábrica de Compensado

Equipamento	Int. Corrente (Âmpere)	Tensão (Volts)	Rotação (rpm)	Potência Nominal (CV)
Setor de Secagem				
1 Secador A: Motor um	17	380	1760	20
Motor dois	17	380	1760	20
Motor três	17	380	1760	20
Motor quatro	17	380	1760	20
Motor cinco	14	380	1740	15
Motor seis	14	380	1740	15
Motor sete	14	380	1740	15
Motor oito	14	380	1740	15
Acionador de "rolete"	13	380	1720	7,5
Resfriador (2 motores)	-	380	-	7,5
2. Secador B: Motor um	17	380	1175	10
Motor dois	17	380	1175	10
Motor três	17	380	1175	10
Motor quatro	17	380	1175	10
Motor cinco	30	380	1180	20
Motor seis	30	380	1180	20
Motor sete	30	380	1180	20
Motor oito	30	380	1780	20
Acionador de "rolete"	12	380	1750	7,5
Resfriador (2 motores)	12	380	1750	5
5. Estufa A (Lam.):Motor um	15	220	1240	5
Motor dois	15	220	1240	5
Motor três	15	220	1240	5
6. Estufa B (Fáb.):Motor um	15	220	1740	5
Motor dois	15	220	1740	5
Motor três	15	220	1740	5
Setor de Geração Vapor (Caldeiras)				
1. Caldeira A (Laminação)				
Bomba de água fria	22	220	-	7,5
Bomba de água quente	15	220	-	5
2. Caldeira B (Fábrica)				
Bomba de água fria	18	220	3500	5
Bomba de água quente	15	220	3480	7,5
Exaustor	98	220	1770	40
Setor de Preparação e Montagem				
1. Bomba tanque cola(2unid.)	8,5	380	-	7,5
2. Batedeira cola A (branca)	9,5	380	1430	7,5
3. Batedeira cola B (vermelha)	8,7	380	1710	5
4. Passadeira cola A (branca)				
Motor de elevação	5	380	1710	3
Motor do rolo de cola	7	380	1710	3

TABELA C2. Levantamento de equipamentos .....

(Continuação)

5. Passadeira cola B(vermelha)				
Motor de elevação	5	380	1710	3
Motor do rolo de cola	4 ou 6	380	1630	2
Guilhotinas (2 unid.)	4,4	380	1160	2
Juntadeira de lâminas (2 unid.)	2	380	1630	0,5
Setor de Prensagem				
1. Prensa A:				
Motor de elevação chapas	5,3	380	1700	3
Bomba de alta ("erguer")	30	380	3520	20
Bomba de calagem ("apertar")	8,7	380	1710	5
Equipamento	Int. Corrente (Âmpere)	Tensão (Volts)	Rotação (rpm)	Potência Nominal (CV)
Setor de Prensagem (Continuação)				
2. Prensa B:				
Motor elevação chapas (2unid)	5,3	380	1700	3
Bomba de alta ("erguer")	30	380	3520	20
Bomba de calagem ("apertar")	8,7	380	1710	5
Setor de Acabamento				
1. Esquadrejadeira				
Motor um	8,7	380	3500	5
Motor dois	8,7	380	3500	5
Motor três	8,7	380	3500	5
Motor quatro	8,7	380	3500	5
Motor cinco (leva serra)	1,3	380	5170	1,5
Motor seis (exaustor)	12	380	3490	7,5
2. Lixadeira				
Motor correia A (mov. Chapa)	6,9	380	1730	4
Motor giratório de chapa	2,2	380	-	1
Motor de Lixa um	43	380	1760	30
Motor de Lixa dois	29	380	1750	20
Motor de correia B	3	380	-	2
Motor p/ elevar lixadeira	8,5	380	-	5
3. Exaustor de pó Lixadeira	105	220	1775	40 ou 50
4. Compressor de ar (p/ Setor Prensagem e Acabamento)	23	380	1760	15

TABELA C2. Levantamento de equipamentos .....

Continuação ...

Equipamento	Int. Corrente (Âmpere)	Tensão (Volts)	Rotação (rpm)	Potência Nominal (CV)
Setor de Sarrafeado				
1. Juntadeira de sarrafo				
Motor um	28	220	1730	10
Motor dois	9	220	1710	3
Motor três	9	220	1710	3
Motor compressor	13,5	220	3470	5
2. Plaina A				
Motor um	19	220	3520	7,5
Motor dois	19	220	3520	7,5
Motor três	19	220	3520	7,5
3. Plaina B				
Motor um	11	220	1140	3
Motor dois	21	220	3530	7,5
Motor três	40	220	3530	15
Motor quatro	21	220	3530	7,5
4. Destopadeira A	4,7	220	1140	1,5
5. Destopadeira B	20	220	3500	7,5
6. Destopadeira C	15	220	3520	5
7. Exaustor (plainas)	105	220	1770	40
8. Serra múltipla				
Motor um	62	220	3520	20
Motor dois	2,2	220	1150	1

## ANEXO D - MODELOS DE REGRESSÃO

TABELA D1. Modelos relativos a produção de lâminas

Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	R	$R^2_{aj.}$	$F_{Calc.}$	$S_{yx}$
Variável Dependente: Energia Elétrica (Kwh/mês) Variável Independente: Produção de Lâminas (m <sup>3</sup> /mês)							
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \xi$	4145,110 t=2,5	14,93457 t=8,0	-	0,8772	0,7599	80,14	2391,44
$Y = \beta X + \xi$	-	18,85128 t=37,34	-	0,9911	0,9824	1394,24	2618,30
$Y = \beta_0 + \beta_1 X^2 + \xi$	11679,56 t=13,4	0,00681 t=9,4	-	0,8868	0,7575	88,32	2302,30
$Y = \beta X^2 + \xi$	-	0,01511 t=14,2	-	0,9432	0,8851	201,36	6555,84
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	11743,64 t=2,0	-0,08936 t=-0,1	0,00685 t=1,3	0,8868	0,7864		2302,30
$Y = \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	-	22,954 t=12,2	-0,00288 t=-1,9	0,8657	0,7494		2493,91
$Y = \beta_0 X^{\beta_1} + \xi$	74,4224 t=	0,803720 t=	-	0,8715	0,7695		2443,24
$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln X + \xi$	-80827,49 t=-6,1	14453,80 t=7,5	-	0,8362	0,6868	55,82	2731,47
$Y = \beta_0 + \beta_1 \exp(\beta_2 X) + \xi$	18743,10 t=-	7070,72 t=-	3211,07 t=-	-	-	-	-
$Y = \beta_0 * \exp(\beta_1 / X) + \xi$	43747,96 t=8,6	795,3513 t=6,9	-	0,8254	0,6862	-	2790,63
Variável Dependente: Energia Química (Diesel: Litros/mês) Variável Independente: Produção de Lâminas (m <sup>3</sup> /mês)							
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \xi$	917,9499 t=2,1	2,17771 t=5,1	-	0,7181	0,5157	25,55	617,50
$Y = \beta X + \xi$	-	3,04507 t=23,99	-	0,9790	0,9567	575,95	651,45
$Y = \beta_0 + \beta_1 X^2 + \xi$	2005,150 t=8,7	0,00101 t=5,3	-	0,7359	0,5222	28,35	600,81
$Y = \beta X^2 + \xi$		0,00243 t=12,37	-	0,9272	0,8541	153,24	1208,27
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	2737,527 t=1,8	-1,41994 t=-0,5	0,00164 t=1,2	0,7390	0,5762	-	597,76
$Y = \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	-	3,795160 t=8,1	-0,00063 t=-1,6	0,6948	0,0482 7	-	638,16
$Y = \beta_0 X^{\beta_1} + \xi$	21,03135 t=	0,723640 t=	-	0,7092	0,5001	-	625,56
$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln X + \xi$	11365,50 t=-3,6	2105,11 t=4,5	-	0,6795	0,4394	20,59	650,96
$Y = \beta_0 + \beta_1 \exp(\beta_2 X) + \xi$	3046,577 t=-	-1149,64 t=-	522,21 t=-	-	-	-	-
$Y = \beta_0 * \exp(\beta_1 / X) + \xi$	6409,833 t=5,9	687,266 t=4,2	-	0,6651	0,4424	-	662,59

TABELA D1. Modelos relativos a produção de lâminas (Continuação)

Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	R	$R^2_{aj.}$	$F_{Calc.}$	$S_{yx}$
Variável Dependente: Energia Química (Combustíveis: Mcal/mês)							
Variável Independente: Produção de Lâminas ( $m^3/mês$ )							
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \xi$	9616,402 $t=2,4$	2023992 $t=5,2$	-	0,7249	0,5057	26,57	5628,09
$Y = \beta X + \xi$	-	29,32644 $t=24,7$	-	0,9802	0,9592	612,66	6144,58
$Y = \beta_0 + \beta_1 X^2 + \xi$	19938,23 $t=9,5$	0,00934 $t=5,4$	-	0,7415	0,5311	29,31	5481,69
$Y = \beta X^2 + \xi$		0,02334 $t=12,3$	-	0,9269	0,8523	151,08	11693,20
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	25663,03 $t=1,8$	-11,48750 $t=-0,5$	0,01447 $t=1,2$	0,7439	0,5534	-	5459,80
$Y = \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	-	37,12077 $t=8,7$	-0,00681 $t=-1,9$	0,6983	0,4877	-	5847,89
$Y = \beta_0 X^{\beta_1} + \xi$	245,9169 $t=$	0,69585 $t=$	-	0,7154	0,5101	-	5708,25
$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln X + \xi$	-104845,4 $t=-3,6$	19609,5 $t=4,5$	-	0,6875	0,4506	21,51	5933,16
$Y = \beta_0 + \beta_1 \exp^{(-\beta_2/X)} + \xi$	- $t=-$	- $t=-$	-	-	-	-	-
$Y = \beta_0 * \exp^{(\beta_1/X)} + \xi$	59911,27 $t=6,2$	663,8876 $t=4,3$	-	0,6719	0,044 24	-	6051,18
Variável Dependente: Energia Térmica (Biomassa: Kg/dia)							
Variável Independente: Produção de Lâminas ( $m^3/dia$ )							
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \xi$	-4064,82 $t=-2,2$	246,2066 $t=9,4$	-	0,7646	0,5779	88,65	1770,50
$Y = \beta X + \xi$	-	188,5177 $t=58,30$	-	0,9907	0,9812	3398,7 7	1823,67
$Y = \beta_0 + \beta_1 X^2 + \xi$	4781,381 $t=5,2$	1,6864 $t=9,3$	-	0,7607	0,5721	86,55	1783,45
$Y = \beta X^2 + \xi$		2,606369 $t=50,0$	-	0,9874	0,9747	2503,4 4	2117,92
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	-8500,38 $t=-0,6$	370,533 $t=1,0$	-0,8582 $t=2,2$	0,7633	0,5802	-	2865,19
$Y = \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	-	134,4937 $t=5,3$	0,7552 $t=2,2$	0,6948	0,048 27	-	2874,46
$Y = \beta_0 X^{\beta_1} + \xi$	54,1180 $t=$	1,29264 $t=$	-	0,7638	0,5834	-	2871,69
$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln X + \xi$	-61443,15 $t=-7,7$	17592,12 $t=9,4$	-	0,7646	0,5781	88,70	1769,78
$Y = \beta_0 + \beta_1 \exp^{(-\beta_2/X)} + \xi$	- $t=-$	- $t=-$	- $t=-$	-	-	-	-
$Y = \beta_0 * \exp^{(\beta_1/X)} + \xi$	50252,56 $t=5,3$	93,279 $t=6,9$	-	0,7651	0,5853	-	2865,11

TABELA D1. Modelos relativos a produção de lâminas (Continuação)

Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	R	$R^2_{aj.}$	$F_{Calc.}$	$S_{yx}$
Variável Dependente: Energia Térmica (Mcal/dia)							
Variável Independente: Produção de Lâminas (m <sup>3</sup> /dia)							
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \xi$	-5046,65 t= -2,2	305,6641 t = 9,4	-	0,7646	0,5779	88,65	2127,45
$Y = \beta X + \xi$	-	3,04507 t=23,99	-	0,9907	0,9812	3398,7 7	2264,06
$Y = \beta_0 + \beta_1 X^2 + \xi$	5935,927 t = 5,2	2,09360 t = 9,3	-	0,7607	0,5720	86,55	2212,87
$Y = \beta X^2 + \xi$		3,23575 t = 50,0	-	0,9874	0,9747	2503,4 4	2629,35
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	-10552,8 t = -0,6	460,000 t = 1,0	-1,06510 t= -0,3	0,7651	0,5835	-	2195,47
$Y = \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	-	166,9701 t=5,3	0,9376 t= 2,2	0,7633	0,5802	-	2202,58
$Y = \beta_0 X^{\beta_1} + \xi$	67,1870 t =	1,2926 t =	-	0,7638	0,5834	-	2200,46
$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln X + \xi$	-76280,44 t = -7,8	21840,20 t = 9,4	-	0,7647	0,5847	88,70	2197,15
$Y = \beta_0 + \beta_1 \exp^{(-\beta_2 X)} + \xi$	- t = -	- t = -	- t = -	-	-	-	-
$Y = \beta_0 * \exp^{(-\beta_1/X)} + \xi$	62387,20 t = 6,0	93,2790 t = 7,8	-	0,7651	0,5835	-	2195,41

TABELA D2. Modelos relativos a Secagem de lâminas na Fábrica

Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	R	$R^2_{aj.}$	$F_{Calc.}$	$S_{yx}$
Variável Dependente: Energia Elétrica (Kwh/mês)							
Variável Independente: Secagem de Lâminas (m <sup>3</sup> /mês)							
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \xi$	14433,92 t=2,1	30,9495 t= 3,3	-	0,8847	0,7736	86,45	8750,64
$Y = \beta X + \xi$	-	37,8264 t= 41,9	-	0,9929	0,9854	1752,2 6	9353,46
$Y = \beta_0 + \beta_1 X^2 + \xi$	43819,08 t= 12,1	0,0076 t= 9,7	-	0,8932	0,7897	74,69	8441,58
$Y = \beta X^2 + \xi$		0,016031 t= 17,2	-	0,9602	0,9189	295,65	22020,5 8
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 x^2 + \xi$	43308,30 t= 1,9	0,5272 t= 0,02	0,00748 t= 1,3	0,8932	0,7906	-	8441,49
$Y = \beta_1 X + \beta_2 x^2 + \xi$	-	44,0677 t= 11,1	-0,0028 t= -1,6	0,8756	0,7601	-	9067,29
$Y = \beta_0 X^{**\beta_1} + \xi$	151,9714 t=	0,8188 t=	-	0,8807	0,7757	-	8890,14
$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln X + \xi$	-354988,4 t= -6,7	57003,01 t= 8,1	-	0,8552	0,7201	65,33	9730,47
$Y = \beta_0 + \beta_1 \exp^{(-\beta_2 X)} + \xi$	75199,71 t=	-28388,90 t=	12900,17 t= -	-	-	-	-
$Y = \beta_0 * \exp^{(-\beta_1/X)} + \xi$	167257,8 t= 9,2	1508,879 t= 7,0	-	0,8475	0,7103	-	9963,12
Variável Dependente: Energia Térmica (Mcal/dia)							
Variável Independente: Secagem de Lâminas (m <sup>3</sup> /dia)							
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \xi$	35005,46 t=12,0	285,863 t= 6,6	-	0,8043	0,6322	43,98	3777,31
$Y = \beta X + \xi$	-	786,235 t= 27,7	-	0,9840	0,9671	767,31	9793,02
$Y = \beta_0 + \beta_1 X^2 + \xi$	44852,26 t= 24,6	1,9355 t= 5,5	-	0,7448	0,5362	29,90	4241,85
$Y = \beta X^2 + \xi$		9,6885 t= 11,9	-	0,9223	0,8447	142,50	21298,8 6
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 x^2 + \xi$	5625,052 t= 0,7	1214,52 t= 4,9	-6,8574 t= -3,8	0,8849	0,7531	-	2960,59
$Y = \beta_1 X + \beta_2 x^2 + \xi$	-	1384,18 t= 35,3	-8,0606 t= -15,6	0,8823	0,7585	-	3991,65
$Y = \beta_0 X^{**\beta_1} + \xi$	12577,96 t= 4,4	0,3492 t= 6,5	-	0,8385	0,7032	-	3463,24
$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln X + \xi$	-26270,99 t= - 2,6	19294,0 t= 7,1	-	0,8547	0,7193	65,08	3299,74
$Y = \beta_0 + \beta_1 \exp^{(-\beta_2 X)} + \xi$	-1337600 t= -	137894,0 t= -	0,0002 t= -	0,8036	0,6458	-	3783,65
$Y = \beta_0 * \exp^{(-\beta_1/X)} + \xi$	76934,28 t= 19,4	22,1607 t= 6,9	-	0,8772	0,7695	-	3051,87



TABELA D3. Modelos relativos a Produção de compensado

Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	R	$R^2_{aj.}$	F <sub>Calc.</sub>	S <sub>yx</sub>
Variável Dependente: Energia Elétrica (Kwh/mês)							
Variável Independente: Produção de Compensado (m <sup>3</sup> /mês)							
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \xi$	32108,61 t = 5,7	40,7925 t = 10,1	-	0,9298	0,8560	8102,07	5738,83
$Y = \beta X + \xi$	-	64,3502 t = 38,0	-	0,9942	0,9877	1447,63	9758,68
$Y = \beta_0 + \beta_1 X^2 + \xi$	58810,46 t = 17,4	0,0155 t = 10,1	-	0,9239	0,8554	101,61	5750,13
$Y = \beta X^2 + \xi$		0,04036 t = 14,4	-	0,9615	0,9200	207,94	24.892,8 2
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	-135,28 t = -0,1	40,7925 t = 9,8	179,5657 t = 3,2	0,9298	0,8645	-	5738,83
$Y = \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	-	40,79247 t = 10,1	179,1889 t = 11,5	0,9298	0,8645	-	5738,83
$Y = \beta_0 X^{**\beta_1} + \xi$	1068,501 t =	0,611736 t =	-	0,9257	0,8569	-	5896,43
$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln X + \xi$	-265322,5 t = -6,8	49138,00 t = 9,0	-	0,9134	0,8240	80,57	6345,63
$Y = \beta_0 + \beta_1 \exp^{(-\beta_2 X)} + \xi$	86761,5 t =	-32747,0 t =	12009,97 t =	-	-	-	-
$Y = \beta_0 * \exp^{(-\beta_1 / X)} + \xi$	1528,66,5 t = 13,8	722,7352 t = 7,6	-	0,9037	0,8116	-	6676,22
Variável Dependente: Energia Química (Diesel: Litros/mês)							
Variável Independente: Produção de Compensado (m <sup>3</sup> /mês)							
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \xi$	173,560 t = 2,5	0,3265 t = 5,7	-	0,7573	0,5735	32,28	114,13
$Y = \beta X + \xi$	-	0,46052 t = 23,0	-	0,9773	0,9532	531,07	125,13
$Y = \beta_0 + \beta_1 X^2 + \xi$	353,8726 t = 8,0	0,00013 t = 5,3	-	0,7341	0,5197	28,07	118,66
$Y = \beta X^2 + \xi$		0,000303 t = 12,3	-	0,9263	0,8526	151,24	222,26
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	0,5818 t = 0,00	0,6542 t = 1,6	-0,00014 t = -0,8	0,7648	0,5805	-	112,59
$Y = \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	-	0,6555 t = 8,6	-0,00014 t = -2,6	0,7648	0,5801	-	112,58
$Y = \beta_0 X^{**\beta_1} + \xi$	5,04087 t = 0,6	0,66750 t = 3,0	-	0,7611	0,5793	-	113,42
$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln X + \xi$	-1927,707 t = -4,4	354,5600 t = 5,7	-	0,7608	0,5612	32,98	113,42
$Y = \beta_0 + \beta_1 \exp^{(-\beta_2 X)} + \xi$	23,53197 t =	-8,37506 t =	4,1819 t =	-	-	-	-
$Y = \beta_0 * \exp^{(-\beta_1 / X)} + \xi$	1067,207 t = 8,0	705,3717 t = 4,9	-	0,7576	0,5701	-	114,07

TABELA D3. Modelos relativos a Produção de compensado (Continuação)

Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	R	$R^2_{aj.}$	$F_{Calc.}$	$S_{yx}$
Variável Dependente: Energia Química (Gás tipo GLP: Kg/mês)							
Variável Independente: Produção de Compensado ( $m^3/mês$ )							
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \xi$	834,8066 $t = 4,6$	0,71635 $t = 4,9$	-	0,7097	0,4829	24,35	288,29
$Y = \beta X + \xi$	-	1,36102 $t = 21,8$	-	0,9747	0,9481	475,60	390,77
$Y = \beta_0 + \beta_1 X^2 + \xi$	1194,761 $t = 11,7$	0,00031 $t = 5,4$	-	0,7439	0,5347	29,73	273,46
$Y = \beta X^2 + \xi$		0,00089 $t = 11,6$	-	0,0918 0	0,8364	133,99	693,40
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	1897,541 $t = 3,7$	-1,30268 $t = -1,4$	0,00085 $t = 2,2$	0,7665	0,5811	-	262,77
$Y = \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	-	2,0829 $t = 9,7$	-0,00051 $t = -3,3$	0,5893	0,3473	-	330,58
$Y = \beta_0 X^{**\beta_1} + \xi$	56,2218 $t =$	0,4822 $t =$	-	0,6841	0,4680	-	297,47
$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln X + \xi$	-3343,238 $t = -2,8$	716,1610 $t = 4,3$	-	0,6563	0,4070	18,16	308,72
$Y = \beta_0 + \beta_1 \exp^{(-\beta_2 X)} + \xi$	1669,000 $t =$	-629,671 $t =$	287,3544 $t =$	-	-	-	409,19
$Y = \beta_0 * \exp^{(-\beta_1/X)} + \xi$	2543,740 $t = 7,4$	446,5096 $t = 3,0$	-	0,6187	0,3827	-	321,48
Variável Dependente: Energia Química (Combustíveis usados: Mcal/mês)							
Variável Independente: Produção de Compensado ( $m^3/mês$ )							
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \xi$	12478,46 $t = 6,0$	11,2565 $t = 6,6$	-	0,8040	0,6316	43,87	3375,26
$Y = \beta X + \xi$	-	20,89312 $t = 25,1$	-	0,9807	0,9602	628,55	5218,09
$Y = \beta_0 + \beta_1 X^2 + \xi$	18255,02 $t = 15,4$	0,0048 $t = 7,3$	-	0,8226	0,6744	52,79	3173,03
$Y = \beta X^2 + \xi$		0,01363 $t = 12,0$	-	0,9232	0,8464	144,24	10254,28
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	24357,00 $t = 4,0$	-11,3105 $t = -1,0$	-0,00955 $t = 2,1$	0,8372	0,7009	-	3104,18
$Y = \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	-	31,1472 $t = 11,7$	-0,00803 $t = -4,2$	0,7037	0,4951	-	4032,87
$Y = \beta_0 X^{**\beta_1} + \xi$	784,9244 $t =$	0,49549 $t =$	-	0,7830	0,6132	-	3530,18
$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln X + \xi$	-54632,52 $t = -3,9$	2017,642 $t = 5,7$	-	0,7573	0,5157	32,27	3706,68
$Y = \beta_0 + \beta_1 \exp^{(-\beta_2 X)} + \xi$	25587,02 $t =$	-9660,42 $t =$	4389,824 $t =$	-	-	-	5675,8
$Y = \beta_0 * \exp^{(-\beta_1/X)} + \xi$	39859,13 $t = 9,8$	470,2577 $t = 4,2$	-	0,7235	0,5235	-	3917,99

TABELA D3. Modelos relativos a Produção de compensado (Continuação)

Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	R	$R^2_{aj.}$	$F_{Calc.}$	$S_{yx}$
Variável Dependente: Energia Térmica (Biomassa: Kg/dia)							
Variável Independente: Produção de Compensado ( $m^3$ /dia)							
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \xi$	2280617 $t = 0,8$	684,5016 $t = 8,9$	-	0,7871	0,6118	79,81	2794,25
$Y = \beta X + \xi$	-	741,9354 $t = 74,9$	-	0,9914	0,9826	5621,82	2782,21
$Y = \beta_0 + \beta_1 X^2 + \xi$	15429,80 $t = 9,7$	8,7801 $t = 8,8$	-	0,7833	0,6057	77,81	2816,16
$Y = \beta X^2 + \xi$		18,0965 $t = 43,4$	-	0,9870	0,9736	1880,92	4768,44
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	-76654,51 $t = -3,0$	4962,053 $t = 3,6$	-55,5164 $t = -3,1$	0,7297	0,5324	-	3551,29
$Y = \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	-	880,9856 $t = 7,7$	-3,45866 $t = -1,2$	0,6688	0,4474	-	3867,65
$Y = \beta_0 X^{\beta_1} + \xi$	1257,719 $t =$	0,85672 $t =$	-	0,6644	0,4341	-	3888,35
$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln X + \xi$	-66694,70 $t = -6,2$	26177,10 $t = 9,0$	-	0,7880	0,6132	80,28	2789,10
$Y = \beta_0 + \beta_1 \exp^{(-\beta_2 X)} + \xi$	26652,23 $t =$	0,0371 $t =$	1492,22 $t =$	-	-	-	5202,64
$Y = \beta_0 * \exp^{(-\beta_1/X)} + \xi$	69408,01 $t = 6,7$	33,71646 $t = 5,8$	-	0,6834	0,4670	-	3798,2
Variável Dependente: Energia Térmica (Biomassa: Mcal/dia)							
Variável Independente: Produção de Compensado ( $m^3$ /dia)							
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \xi$	4188,742 $t = 0,8$	1455,469 $t = 10,4$	-	0,8304	0,6832	108,82	5088,14
$Y = \beta X + \xi$	-	1560,960 $t = 86,6$	-	0,9967	0,9932	7503,38	5066,79
$Y = \beta_0 + \beta_1 X^2 + \xi$	323075,4 $t = 11,1$	18,6652 $t = 10,3$	-	0,8284	0,6799	107,19	5114,56
$Y = \beta X^2 + \xi$		38,0819 $t = 45,8$	-	0,9883	0,9762	2097,19	9503,18
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	4955,11 $t = 0,13$	1415,268 $t = 0,7$	0,5180 $t = 0,02$	0,8304	0,6851	-	5194,54
$Y = \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	-	1672,37 $t = 11,2$	-2,7617 $t = -0,7$	0,8304	0,6894	-	5206,18
$Y = \beta_0 X^{\beta_1} + \xi$	2023,414 $t =$	0,9297 $t =$	-	0,6836	0,5804	-	5201,85
$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln X + \xi$	-141971,7 $t = -7,3$	55523,01 $t = 10,4$	-	0,8293	0,6812	107,88	5103,33
$Y = \beta_0 + \beta_1 \exp^{(-\beta_2 X)} + \xi$	54436,81 $t =$	0,0362 $t =$	-0,0637 $t =$	0,7662	0,5870	-	7979,48
$Y = \beta_0 * \exp^{(-\beta_1/X)} + \xi$	152537,7 $t = 8,3$	35,44238 $t = 7,5$	-	0,8286	0,6866	-	5197,62

## ANEXO E

$Y_i$  = Variável Dependente: Consumo de Energia (Mcal)

$X_i$  = Variável Independente: Produção de Compensado ( $m^3$ )

**TABELA E1 Modelos para estimar o consumo de energia global otimizada em função da produção de compensado**

Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	R	$R^2_{aj.}$	$F_{Calc.}$	$S_{yx}$
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \xi$	954,03 t = 18,2	0,15644 t = 12,1	-	0,9271	0,8537	146,96	86,27
$Y = \beta X + \xi$	-	1,2988 t = 8,6	-	-	-	-	1275,27
$Y = \beta_0 + \beta_1 X^2 + \xi$	1222,424 t = 7,1	0,00022 t = 10,1	-	0,9459	0,8948	-	64,92
$Y = \beta X^2 + \xi$		0,00081 t = 5,8	-	-	-	-	536,50
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	1348,952 t = 3,3	- 0,23466 t = 2,7	0,00032 t = 2,2	0,9479	0,8985	-	62,34
$Y = \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	-	2,17035 t = 1,8	- 0,00065 t = -0,7	0,7015	0,4921	-	312,06
$Y = \beta_0 X^{**\beta_1} + \xi$	119,0875 t = 4,6	0,36597 t = 4,1	-	0,9005	0,8109	-	116,21
$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln X + \xi$	954,03 t = 17,3	0,5226 t = 10,4	-	0,9272	0,8596	101,18	86,25
$Y = \beta_0 + \beta_1 \exp^{(-\beta_2 X)} + \xi$	1555,085 t =	0,1000 t =	0,1000 t =	-	-	-	614,41
$Y = \beta_0 * \exp^{(-\beta_1/X)} + \xi$	2155,892 t = 8,3	341,615 t = 7,7	-	0,8320	0,6923	-	189,07

## ANEXO F

MODELOS PARA O CONSUMO DE ENERGIA OTIMIZADA EM FUNÇÃO DO AUMENTO NA PRODUÇÃO DE COMPENSADO, CONSIDERANDO O CONSUMO DE ENERGIA POR M<sup>3</sup> E FUNÇÃO DA PRODUÇÃO DE COMPENSADO

Nota :  $Y_i$  = Variável Dependente: Consumo de Energia (Mcal/m<sup>3</sup>)

$X_i$  = Variável Independente: Produção de Compensado (m<sup>3</sup>/mês)

TABELA F1. Modelos para estimar o consumo de energia Térmica otimizada em função do aumento na produção de compensado

Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	R	$R^2_{aj.}$	F <sub>Calc.</sub>	$S_{yx}$
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \xi$	1736,464 t = 37,33	- 0,3820 t = -10,1	-	0,9008	0,8037	103,3 3	76,06
$Y = \beta X + \xi$	-	0,9532 t = 10,4	-	0,9012	0,8044	107,9 1	576,01
$Y = \beta_0 + \beta_1 X^2 + \xi$	1515,633 t = 15,4	- 0,00015 t = 10,1	-	0,8356	0,6982	-	121,76
$Y = \beta X^2 + \xi$		0,00057 t = 12,0	-	-	-	-	936,37
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	2322,992 t = 4,0	- 1,49735 t = -10,0	0,00047 t = 2,1	0,9797	0,9598	-	26,22
$Y = \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	-	2,6443 t = 1,7	- 0,00119 t = -3,2	-	-	-	856,15
$Y = \beta_0 X^{\beta_1} + \xi$	13589,86	- 0,33749 t =	-	0,9631	0,9276	-	29,29
$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln X + \xi$	1736,52 t = 3,9	- 0,4896 t = 7,7	-	0,9007	0,8114	82,27	76,77
$Y = \beta_0 + \beta_1 \exp^{(-\beta_2 X)} + \xi$	1291,492 t =	-0,1000 t =	0,10000 t =	-	-	-	403,49
$Y = \beta_0 * \exp^{(-\beta_1/X)} + \xi$	946,1008 t = 9,8	- 310,15 t = 4,6	-	0,9694	0,9397	-	24,31

**TABELA f2. Modelos para estimar o consumo de energia elétrica otimizada em função do aumento na produção de compensado**

Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	R	$R^2_{aj.}$	$F_{Calc.}$	$S_{yx}$
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \xi$	1813541 $t = 5,7$	-0,05315 $t = -16,1$	-	0,7641	0,5665	33,67	18,67
$Y = \beta X + \xi$	-	0,8368 $t = 8,70$	-	0,8669	0,7416	75,64	62,35
$Y = \beta_0 + \beta_1 X^2 + \xi$	150,0636 $t = 17,4$	- 0,00002 $t = 10,9$	-	0,6948	0,4828	81,71	23,20
$Y = \beta X^2 + \xi$		0,00051 $t = 14,0$	-	-	-	-	398,7 4
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	286,8556 $t = 0,1$	- 0,25369 $t = -7,1$	0,00009 $t = 3,2$	0,8733	0,7627	-	10,65
$Y = \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	-	0,25773 $t = 7,7$	- 0,00014 $t = 1,5$	-	-	-	63,73
$Y = \beta_0 X^{**\beta_1} + \xi$	4948,331 $t =$	- 0,53508 $t =$	-	0,8567	0,7339	-	11,94
$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln X + \xi$	181,3541 $t = 2,8$	0,20851 $t = 9,0$	-	0,7641	0,5838	32,66	18,67
$Y = \beta_0 + \beta_1 \exp^{(-\beta_2 X)} + \xi$	119,5378 $t =$	0,10000 $t =$	0,10000 $t =$	-	-	-	44,86
$Y = \beta_0 * \exp^{(-\beta_1/X)} + \xi$	72,09197 $t = 8,8$	- 495,757 $t = 7,6$	-	0,8911	0,7940	-	9,24

**TABELA F3. Modelos para estimar o consumo de energia química otimizada em função do aumento na produção de compensado**

Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	R	$R^2_{aj.}$	$F_{Calc.}$	$S_{yx}$
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \xi$	237,2535 $t = 20,5$	- 0,0892 $t = -9,8$	-	0,8865	0,7858	88,06	19,25
$Y = \beta X + \xi$	-	0,9317 $t = 7,3$	-	0,8245	0,6670	5307	80,29
$Y = \beta_0 + \beta_1 X^2 + \xi$	189,2148 $t = 8,0$	- 0,00004 $t = 3,5$	-	0,8784	0,7714	-	20,56
$Y = \beta X^2 + \xi$		0,00005 $t = -2,3$	-	-	-	-	481,6
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	234,3630 $t = 3,7$	- 0,08373 $t = -1,6$	- 0,00014 $t = -0,8$	0,8865	0,7859	-	19,26
$Y = \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	-	0,33411 $t = 6,4$	- 0,00017 $t = -2,6$	0,6405	0,4102	-	53,04
$Y = \beta_0 X^{**\beta_1} + \xi$	11890,42 $t = 9,6$	- 0,64568 $t = -3,0$	-	0,8509	0,7241	-	24,81
$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln X + \xi$	237,2535 $t = 4,4$	- 0,36976 $t = 4,2$	-	0,8865	0,7858	12,98	19,26
$Y = \beta_0 + \beta_1 \exp^{(-\beta_2 X)} + \xi$	133,267 $t =$	0,10000 $t =$	0,10000 $t =$	-	-	-	89,93
$Y = \beta_0 * \exp^{(-\beta_1/X)} + \xi$	76,4569 $t = 5,8$	- 545,233 $t = 4,9$	-	0,8028	0,6445	-	31,97

TABELA F4. Modelos para estimar o consumo de energia humana em função do aumento na produção de compensado

Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	R	$R^2_{aj.}$	$F_{Calc.}$	$S_{yx}$
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \xi$	48,2963 t = 13,86	- 0,02556 t = 9,02	-	0,8789	0,7630	81,47	5,73
$Y = \beta X + \xi$	-	0,01157 t = 4,31	-	0,6530	0,4035	18,59	16,85
$Y = \beta_0 + \beta_1 X^2 + \xi$	33,315281 t = 11,7	- 0,00001 t = 0,5	-	0,8044	0,6471		8,89
$Y = \beta X^2 + \xi$		0,00006 t = 1,6	-	-	-	-	68,10
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	95,375621 t = 3,7	- 0,11509 t = -1,4	0,0004 t = 1,2	0,9876	0,9754	-	6,18
$Y = \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	-	0,054944 t = 7,0	- 0,00003 t = -2,3	0,4795	0,2299	-	19,39
$Y = \beta_0 X^{**\beta_1} + \xi$	586089,3 t =	- 1,5032 t =	-	0,9767	0,9540	-	1,15
$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln X + \xi$	48,2992 t = 7,8	- 0,35495 t = 8,3	-	0,8789	0,7725	18,16	5,78
$Y = \beta_0 + \beta_1 \exp^{(-\beta_2 X)} + \xi$	18,5113	0,10000	0,10000	-	-	-	25,18
$Y = \beta_0 * \exp^{(-\beta_1/X)} + \xi$	5,3856 t = 7,4	- 1162,01 t = 4,4	-	0,9748	0,8999	-	2,51

TABELA F5. Modelos para estimar o consumo de energia global otimizada em função do aumento na produção de compensado

Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	R	$R^2_{aj.}$	$F_{Calc.}$	$S_{yx}$
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \xi$	2203,768 t = 40,8	- 0,5501 t = 12,3	-	0,9291	8576	151,58	90,91
$Y = \beta X + \xi$	-	1,1443 t = 9,8	-	0,8915	0,7865	96,79	730,20
$Y = \beta_0 + \beta_1 X^2 + \xi$	1888,127 t = 7,7	- 0,00022 t = 3,8	-	0,8692	0,7555	28,81	161,66
$Y = \beta X^2 + \xi$		0,000008 t =	-	-	-	-	12230,56
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	2939,586 t = 8,3	- 1,9488 t = 3,6	0,00059 t = -2,1	0,9916	0,9832	-	11,08
$Y = \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \xi$	-	3,39104 t = 3,7	-0,00015 t = -1,2	-	-	-	1142,67
$Y = \beta_0 X^{**\beta_1} + \xi$	24660,33 t =	- 0,39582 t =	-	0,9846	0,9694	-	20,21
$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln X + \xi$	2201,368 t = 6,2	- 0,5368 t = -11,4	-	0,9291	08633	96,77	90,93
$Y = \beta_0 + \beta_1 \exp^{(-\beta_2 X)} + \xi$	1562,807 t =	0,10000 t =	0,10000 t =	-	-	-	661,28
$Y = \beta_0 * \exp^{(-\beta_1/X)} + \xi$	1088,35 t = 7,6	-359,11 t = -8,5	-	0,9847	0,9696	-	20,10